ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/324896530

Sarandón SJ (2002) AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable. (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 560 pgs. ISBN:987-9486-03-X

Book · May 2018

CITATIONS
6

READS
1,163

1 author:



Santiago J. Sarandón
National University of La Plata
76 PUBLICATIONS **578** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Bases Agroecológicas para el diseño, manejo y evaluación de agroecosistemas sustentables View project

All content following this page was uploaded by Santiago J. Sarandón on 02 May 2018.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Agroecología

El camino hacia una agricultura sustentable

Santiago J. Sarandón
(editor)



Ediciones Científicas Americanas

Prólogo

Editar un libro sobre una disciplina tan amplia y novedosa como es la Agroecología no es una tarea fácil. Más aún, cuando existen libros que abordan, algunos de excelente manera, esta temática.

Sin embargo, varias razones, además de cierta cuota de osadía, me movieron a hacerlo. Como todo enfoque relativamente nuevo, el de la Agroecología está en constante evolución y cambio, por lo que sus contenidos deben actualizarse continuamente. Por otro lado, mucha literatura, presenta ejemplos locales de difícil extrapolación o aplicación a otros agroecosistemas o realidades, como los de sistemas extensivos de climas templados. Además, gran parte de la bibliografía existente sobre el tema, se encuentra escrita en idioma inglés, lo que es una restricción para muchos lectores de habla hispana. El objetivo de este libro es cubrir, en parte, este vacío y brindar un material accesible que resulte de utilidad, tanto para profesionales, como para alumnos universitarios, estudiantes de ciencias agrarias, investigadores, agricultores y políticos.

Este libro pretende analizar el aporte de la Agroecología al logro de una agricultura sustentable. Estoy convencido de que la agroecología no es sólo una alternativa, sino el camino necesario para lograr que la agricultura sea una actividad más racional desde el punto de vista ecológico y más humana desde el punto de vista social.

Con esta idea en mente he reunido a un total de 35 autores, de 8 países que vienen trabajando desde hace años en distintas áreas de la agroecología y han volcado su experiencia en este libro. El mismo está dividido en 30 capítulos, agrupados en 7 partes, que abarcan desde el tratamiento del marco conceptual de la agroecología y el desarrollo sustentable hasta estudios de casos de diferentes agriculturas alternativas.

La *primera parte,* aborda, en 5 capítulos, el marco conceptual y filosófico de la sustentabilidad. En el Capítulo 1 se analizan los problemas de la agricultura convencional, sus causas y los cambios que se requieren para ir hacia una agricultura sustentable. En el Capítulo 2, se desarrollan los principios y estrategias que provee la agroecología para el diseño de sistemas agrarios sustentables. En el Capítulo 3 se hace un análisis de la agroecología como herramienta para el desarrollo regional, y de las principales corrientes de pensamiento, con especial énfasis en la realidad latinoamericana. En los Capítulos 4 y 5 se abordan las dimensiones sociales de la agricultura sustentable y la necesidad de un cambio de paradigma de la concepción de la economía, para hacerla más compatible con un modelo de desarrollo sustentable.

La *segunda parte* del libro, se ocupa de los agroecosistemas, analizando los principales procesos en los ecosistemas naturales y sistemas agrícolas (Capítulo 6), el rol de la

entomofauna edáfica, (principalmente los coleópteros), en el sistema suelo (Capítulo 7) y la relación de la microbiología del suelo con la agricultura sustentable (Capítulo 8).

En la *parte 3,* se analizan algunas prácticas alternativas de manejo para una agricultura sustentable. El Capítulo 9 presenta a la agricultura orgánica como un estilo de agricultura más comprometida con el ambiente, que brinda una calidad de alimento superior a la convencional. El Capítulo 10 muestra las posibilidades y limitaciones del uso de policultivos o cultivos consociados para el logro de una agricultura sustentable y en el Capítulo 11 se analizan los impactos ecológicos de los cultivos transgénicos y su incompatibilidad con la idea de una agricultura sustentable. Finalmente, en el Capítulo 12, se presenta el manejo agroecológico de suelos en sistemas andinos, y la racionalidad ecológica de las tecnologías prehispánicas.

En la *parte 4* se aborda el manejo de plagas, enfermedades y malezas. En el Capítulo 13, se desarrollan los principios de manejo de plagas, las técnicas de control más usadas, sus limitaciones y posibilidades, dentro del concepto de manejo integrado de plagas (MIP). El Capítulo 14 presenta los elementos que deben tenerse en cuenta para el manejo de enfermedades en una agricultura sustentable, sobre todo en sistemas extensivos de cereales y oleaginosas, con ejemplos de Brasil y Argentina. En el Capítulo 15 se analizan las posibilidades del manejo de enfermedades mediante el uso de antagonistas y en el Capítulo 16, el empleo de enmiendas orgánicas para el control de hongos de suelo y nematodes.

En los siguientes capítulos 17,18 y 19 se analiza el manejo de malezas en una agricultura sustentable, el uso de la habilidad competitiva de los cultivares, y las posibilidades y limitaciones del control biológico de malezas.

La *parte 5* aborda el análisis y evaluación de agroecosistemas. En el Capítulo 20 se plantea la necesidad del desarrollo de criterios e indicadores para evaluar la sustentabilidad teniendo en cuenta la multidimensión del término. El Capítulo 21 presenta la aplicación de un método de evaluación de la sustentabilidad, (MESMIS), a un sistema campesino en México. Finalmente, en el Capítulo 22, se muestran las posibilidades y limitaciones de la aplicación del análisis multicriterio para la valoración del uso de la tierra desde un punto de vista económico, productivo, social y ecológico, para un caso en Uruguay.

En la *parte 6* del libro se discute la necesidad de un cambio en la investigación y en la formación de profesionales para incorporar el enfoque agroecológico, y el rol que la Universidad tiene en este sentido (Capítulo 23) y se discuten algunos aspectos a tener en cuenta para lograr una gestión municipal sustentable (Capítulo 24).

Finalmente, la *parte 7* presenta 6 ejemplos de aplicación de diferentes sistemas alternativos en realidades socioeconómicas y ecológicas diversas. En el Capítulo 25 se analiza el caso de los viñateros de la costa del Río de La Plata, en Argentina. El Capítulo 26 presenta un sistema extensivo de 500 has de producción de carne y granos orgánicos en el Oeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. En el Capítulo 27 se relata la expe-

riencia del manejo ecológico de yerbatales con ovejas, en la Provincia de Misiones, Argentina. En el Capítulo 28 se rescatan las experiencias agroecológicas de una finca campesina en Cuba, describiendo sus transformaciones con un manejo agroecológico, desde 1979, hasta la actualidad. En el Capítulo 29, se describe el manejo de la diversidad vegetal para incrementar el control biológico de insectos plaga en un viñedo orgánico en el norte de California. Finalmente, en el Capítulo 30 se describe un sistema de producción de caña de azúcar orgánica en una cooperativa de Misiones, Argentina.

En este libro se ha tratado de mantener cierta unidad de criterio a través de la elección de los autores y los temas. Sin embargo, cada capítulo conserva la visión original de su autor, lo que aumenta su riqueza y muestra la variedad de opiniones que existen dentro de este enfoque que, como toda ciencia nueva, se está construyendo día a día.

Un libro de este tipo, no sería posible sin la ayuda de numerosas personas que, de una forma u otra me alentaron y colaboraron para que este emprendimiento se concretara. En primer lugar, deseo agradecer a mis alumnos de los diferentes cursos de Agroecología y Agricultura Sustentable que he dictado. Sus inquietudes, críticas, comentarios y preguntas, fueron motivando la necesidad de la realización de un libro de estas características y delineando su contenido y enfoque. Por otro lado, deseo agradecer a Bárbara Bellone, Claudia Flores, Soledad Zuluaga y Andrea Dellepiane, que me ayudaron a transformar este libro en realidad.

Finalmente un reconocimiento especial a los autores por haber aceptado este desafío y confiar en mí. A todos ellos, muchas gracias.

Santiago J. Sarandón

Contenido

Parte 1 El marco conceptual de la agroecología y la agricultura sustentable **21**

Capítulo 1 **La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El Impacto de la Agricultura intensiva de la Revolución Verde.** Santiago J. Sarandón **23**

Capítulo 2 **Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables.** Miguel A. Altieri **49**

Capítulo 3 **Agroecología y desarrollo rural sustentable: una propuesta desde Latino América.** Eduardo Sevilla Guzmán **57**

Capítulo 4 **Dimensiones sociales de la agricultura sustentable.** Marta Chiappe. **83**

Capítulo 5 **Crecimiento económico y límites ambientales.** Xavier Simón Fernández **99**

Parte 2 El agroecosistema **117**

Capítulo 6 **El agroecosistema: un sistema natural modificado. Similitudes y diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas.** Santiago J. Sarandón **119**

Capítulo 7 **La fauna edáfica y su relación con la calidad del suelo.** Mariana Marasas. **135**

Capítulo 8 **La Microbiología del suelo. Su relación con la agricultura sustentable.** Adriana Abril **153**

Parte 3 Prácticas alternativas de manejo para una agricultura sustentable **175**

Capítulo 9 **La agricultura orgánica.** Mariana del Pino **177**

Capítulo 10 **El uso de policultivos en una agricultura sustentable.** Santiago J. Sarandón y Juana Labrador Moreno **189**

Agroecología El camino hacia una agricultura sustentable - E.C.A. - ISBN 987-9486-03-X

Capítulo 11 **Los impactos ecológicos de los cultivos transgénicos y las razones por las que la biotecnología agrícola es incompatible con una agricultura sostenible.** Miguel Altieri **223**

Capítulo 12 **Manejo agroecológico de suelos en sistemas andinos.** Carmen Felipe Morales. **233**

Parte 4 Manejo de plagas, enfermedades y malezas en una agricultura sustentable **249**

Capítulo 13 **Principios de manejo de plagas en una agricultura sustentable.** Nancy Greco, Norma Sánchez y Patricia Pereyra. **251**

Capítulo 14 **Elementos para el Manejo de enfermedades.** Erlei Melo Reis, Ricardo Trezzi Casa y Marcelo Carmona **275**

Capítulo 15 **Posibilidades del manejo de enfermedades mediante el uso de antagonistas.** Cecilia Inés Mónaco. **309**

Capítulo 16 **El empleo de enmiendas orgánicas para el control de hongos de suelo y nematodos.** Andrés Nico **319**

Capítulo 17 **Manejo de malezas en una agricultura sustentable.** Horacio A. Acciaresi y Santiago J. Sarandón **331**

Capítulo 18 **Posibilidades y limitaciones del control biológico de malezas.** Marina Sisterna **363**

Capítulo 19 **Posibilidades y limitaciones del uso de la habilidad competitiva para el manejo de malezas en una agricultura sustentable.** Horacio A. Acciaresi y Rodolfo Bezus **375**

Parte 5 Análisis y evaluación de agroecosistema **391**

Capítulo 20 **El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas.** Santiago J. Sarandón **393**

Capítulo 21 **El marco de evaluación MESMIS y su aplicación en un sistema agrícola campesino en la región Purhepecha, México.** Marta Astier, Santiago López-Ridaura, Esperanza Pérez Agis y Omar Masera. **415**

Capítulo 22 **Aplicación del método multicriterio para valorar la sustentabilidad de diferentes alternativas productivas en los humedales de la Laguna Merín, Uruguay.** Gerardo Evia y Santiago J. Sarandón **431**

Parte 6 Educación, investigación y gestión para una agricultura sustentable **449**

Capítulo 23 **La investigación y formación de profesionales en agroecología para una agricultura sustentable: El rol de la Universidad.** Santiago J. Sarandón y Guillermo M. Hang **451**

Capítulo 24 **Los desafíos de la gestión municipal para una agricultura sustentable. El caso de Tres Arroyos, Argentina.** Eduardo Cerdá y Santiago J. Sarandón **465**

Parte 7 Estudios de casos **483**

Capítulo 25 **Los viñateros de la costa del Río de La Plata, Partido de Berisso, Provincia de Buenos Aires, Argentina: el rescate de una producción tradicional.** Mariana Marasas e Irene Velarde **485**

Capítulo 26 **Producción de alimentos ecológicos en sistemas extensivos en la República Argentina.** Carlos A. Gonella **495**

Capítulo 27 **Manejo ecológico de yerbales con ovejas. El caso de la familia Klein, Misiones, Argentina.** Claudia Noseda **507**

Capítulo 28 **Cuando lo pequeño puede ser grande. Experiencias agroecológicas de una finca campesina en Cuba.** Fernando Funes-Monzote y Jorge del Río **515**

Capítulo 29 **Manipulando la Biodiversidad Vegetal para incrementar el Control Biológico de Insectos Plaga: un estudio de Caso de un Viñedo Orgánico en el Norte de California.** Clara Nicholls. **529**

Capítulo 30 **Producción de caña de azúcar orgánica: El caso de la cooperativa la Unión de San Juan de la Sierra, Misiones, Argentina.** Georgina Granitto y Santiago J. Sarandón. **549**

Acerca del Editor

Santiago J. Sarandón es Ingeniero Agrónomo, graduado en la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) en 1980. Es docente-Investigador de la Universidad Nacional de La Plata y miembro de la Carrera del Investigador Científico, de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Bs. As. (CIC) en la categoría de Investigador Independiente. En 1995 creó y dirigió, hasta su finalización, el Programa de Agroecología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP. Actualmente es el profesor responsable del curso de Agroecología, en esta Facultad.

Ha sido profesor de numerosos cursos de postgrado en al área de la Agroecología y Agricultura Sustentable, en el país y en el exterior. Es autor o coautor de más 50 trabajos científicos en temas de producción vegetal, ecofisiología de cultivos, eficiencia en el uso del N, ecología de cultivos, agroecología, agricultura sustentable y evaluación de la sustentabilidad. Ha escrito numerosos trabajos de divulgación en revistas del país y el exterior sobre temas de agricultura sustentable y agroecología y varios capítulos de libros. Ha dictado conferencias sobre la especialidad en numerosos foros del país y el exterior.

Ha dirigido y dirige becarios en la Universidad Nacional de La Plata y en la CIC de la Pcia. de Bs. As, como también varias tesis de Maestría y/o Doctorado en la UNLP. En la actualidad es director de varios proyectos de investigación y de extensión sobre temas de agricultura sustentable y uso de indicadores de sustentabilidad.

Es miembro de varias comisiones asesoras en el área de evaluación de proyectos de investigación y es el editor responsable de la Revista Científica de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP.

Acerca de los Autores

Abril Adriana, Microbiología Agrícola. Dpto. Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. CC 509, (5000), Córdoba, Argentina. *E-mail: aabril @agro.uncor.edu*

Acciaresi Horacio, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31, 1900, La Plata, Argentina. *E-mail: hacciaresi@ceres.agro.unlp.edu.ar*

Altieri Miguel Angel, University of California, Berkeley, ESPM-Division of Insect Biology, 201 Wellman-3112, Berkeley, CA 94720-3112, USA. *E-mail: agroeco3@nature.berkeley.edu*

Astier Calderón Marta, Programa de Agroecología, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada. (GIRA). Local 17 Centro Comercial el Parián Col. Morelos. Pátzcuaro, 61609, Michoacán, México. *E-mail: giraac@yreri.crefal.edu.mx, mastier@oikos.unam.mx,*

Bezus Rodolfo, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31, 1900, La Plata, Argentina. *E-mail: bezus@ceres.agro.unlp.edu.ar*

Carmona Marcelo, Fitopatólogo, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina. *E-mail: carmonam@mail.agro.uba.ar*

Casa Ricardo Trezzi, Fitopalogista, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinaria, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brasil, CP 611. *E-mail: rtcasa@upf.tche.br*

Cerdá Eduardo, Escuela Agropecuaria de Tres Arroyos, Ruta Nac. 3, Km 489, 7500, Tres Arroyos, Argentina. *E-mail: ecerda@3net.com.ar*

Chiappe Marta, Departamento de Ciencias Sociales. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Garzón 780, Montevideo 12900, Uruguay. *E-mail: martac@internet.com.uy*

del Pino Mariana, Horticultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31, 1900, La Plata, Argentina. *E.mail: anunciacion@amc.com.ar*

Del Río Jorge, Instituto de Investigaciones Porcinas, Ministerio de la Agricultura, Cuba.

Evia Gerardo, CLAES-Centro Latinoamericano de Ecología Social, Programa de Agropecuaria y Ecología, Canelones 1164 - Montevideo, Uruguay. *E-mail: gevia@adinet.com.uy*

Felipe-Morales Carmen, Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Apartado 456, La Molina, Perú.
E-mail : carmenfm@ec-red.com

Funes- Monzote Fernando, Sistemas Integrados de Producción Agroecológica, Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes (MINAGRI), Apartado 4029 C.P. 10400, Ciudad de La Habana, Cuba. *E-mail: actaf@minag.gov.cu*

Gonella Carlos, Sistemas de Producción, Área de Investigación, EEA General Villegas, C.C. 153, B6230 ZBA-General Villegas, Argentina.
E-mail: istprod@inta.gov.ar

Granitto Georgina, Horticultura, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31, 1900, La Plata, Argentina. *E-mail: georginagranitto@yahoo.com*

Greco Nancy M, CEPAVE (UNLP-CONICET). Calle 2 Nº 584, La Plata, Argentina. Cátedra de Ecología de Plagas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP). Calle 60 y 122, La Plata, Argentina. *E-mail: ngreco@museo.fcnym.unlp.edu.ar*

Hang Guillermo, Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31, 1900, La Plata, Argentina.
E-mail: gumihang@ceres.agro.unlp.edu.ar

Labrador Moreno Juana, Departamento de Biología y Producción de los Vegetales, Escuela de Ingenierías Agrarias, Universidad de Extremadura, Crta. de Cáceres s/n. 06080-Badajoz, España. *E-mail: labrador@unex.es*

López-Ridaura Santiago, Plant Production Systems Group, Haarweg 333, 6709 RZ Wageningen, The Netherlands. *E-mail: santiago.lopezridaura@pp.dpw.wau.nl*

Marasas Mariana, Agroecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31, 1900, La Plata, Argentina.
E-mail: mmarasas@way.com.ar

Masera Cerutti Omar, Laboratorio de Bioenergía, Instituto de Ecología, UNAM, Morelia, México. *E-mail: omasera@ate.oikos.unam.mx*

Mónaco Cecilia, Centro de Investigaciones de Fitopatología (CIDEFI) Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata; Argentina.
E-mail: cmonaco@cadema.com.ar

Nicholls Clara I, University of California, Berkeley, ESPM-Division of Insect Biology, 201 Wellman-3112, Berkeley, CA 94720-3112, USA.
E-mail: nicholls@uclink.berkeley.edu

Nico Andrés, Manejo de Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31, 1900, La Plata, Argentina.
E-mail: cs2ignia@lucano.uco.es

Noseda Claudia, Programa Social Agropecuario, Misiones, Argentina.
E-mail: luna@ceel.com.ar

Pereyra Patricia C, CEPAVE (UNLP-CONICET). Calle 2 N° 584, La Plata, Argentina. Cátedra de Ecología de Plagas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP) Calle 60 y 122, La Plata, Argentina.
E-mail: ppereyra@museo.fcnym.unlp.edu.ar

Pérez Agis Esperanza, Programa de Agroecología. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, (GIRA). Local 17 Centro Comercial el Parián Col. Morelos. Pátzcuaro, 61609, Michoacán, México.

Reis Erlei Melo, Fitopatologista, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 99001-970, Brasil.
E-mail: reis@upf.tche.br

Sánchez Norma E, CEPAVE (UNLP-CONICET). Calle 2 Nº 584, La Plata, Argentina. Cátedra de Ecología de Plagas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP). Calle 60 y 122, La Plata, Argentina. *E-mail: nsanchez@museo.fcnym.unlp.edu.ar*

Sarandón Santiago J, (Editor), Agroecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31, 1900, La Plata, Argentina.
E-mail: sarandon@ceres.agro.unlp.edu.ar

Sevilla Guzmán Eduardo, Instituto de Sociología y Estudios Campesinos de la Universidad de Córdoba, E.T.S. de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Avda. Menendez Pidal s/n , Apdo. 3048 , 14080 Córdoba, España. *E-mail: ec1segue@uco.es*

Simón Fernández Xavier, Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Vigo. Lagoas-Marcosende s/n, 36200. Vigo, Galicia, España. *E-mail: xsimon@uvigo.es*

Sisterna Marina, Comisión de Investigaciones Científicas, Bs. As., Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, 60 y 119 (1900) La Plata, Argentina.
E-mail: mnsisterna@infovia.com.ar

Velarde Irene, Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31, 1900, La Plata, Argentina.
E-mail: extagro@ceres.agro.unlp.edu.ar

La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El Impacto de la Agricultura intensiva de la Revolución Verde

Santiago J. Sarandón

1. Introducción

La agricultura es considerada una actividad milenaria en la historia de la humanidad. Pareciera que ha existido desde tiempos inmemoriales y va a existir por siempre. Sin embargo, esto no es así. Si pudiéramos reducir la historia del género humano a sólo 1 año, la agricultura habría aparecido recién el 30 de diciembre a las 4 de la mañana. Es decir, que durante la mayor parte de la historia de la humanidad el hombre se alimentó, se vistió y satisfizo sus necesidades básicas sin necesidad de practicar la agricultura. Y no lo hizo tan mal, ya que para algunos, esta fue la "era dorada" de la humanidad (Harlan, 1992). Por otra parte, la agricultura moderna, que nosotros conocemos, que nos resulta tan familiar, basada en la aplicación de agroquímicos y el uso de cultivares e híbridos de alto potencial de rendimiento, recién habría hecho su aparición 13 minutos antes de la medianoche del último día del año; tan sólo un instante en la historia de nuestro género sobre este planeta. Sin embargo, en estos 13 minutos en que hemos aplicado nuestros conocimientos científicos y toda nuestra "sabiduría" a la agricultura, hemos originado una serie de problemas de tal magnitud que ponen en duda la posibilidad de alimentar a las futuras generaciones.

Es cierto que en estos últimos 50 años, la tecnificación de las prácticas agrícolas ha incrementado (a través de un mayor rendimiento de los cultivos) la producción de alimentos en el mundo, retrasando la predicción maltusiana de hambruna generalizada efectuada hace 200 años (1798). Pero no es menos cierto también, que esto ha estado basado en el uso de dosis masivas de insumos costosos, como combustibles fósiles, junto con otros subsidios como plaguicidas, fertilizantes, semillas híbridas, riego, etc. A su vez, tampoco ha logrado solucionar el problema de la distribución de los alimentos en la población mundial: actualmente hay 1.200 millones de personas desnutridas, con dietas que no cumplen el mínimo necesario de calorías y otras tantas sobrealimentadas, con problemas de obesidad (Gardner & Halweil, 2000).

El objetivo de este capítulo es analizar el impacto transformador de la agricultura moderna, analizar sus causas, sus consecuencias para la sustentabilidad de los agroecosistemas, y discutir algunas alternativas a este modelo de agricultura.

2. Los problemas asociados a la agricultura moderna

Las prácticas derivadas de esta concepción de la agricultura moderna, han provocado una serie de problemas ecológicos, sociales, culturales y económicos. Estos puede analizarse, por sus consecuencias, desde dos puntos de vista: por un lado los problemas originados en las prácticas agrícolas, que afectan a otros sistemas como las ciudades, ríos, lagos, o personas que viven dentro y fuera de él; por el otro, aquellos, a veces más ocultos, que degradan, deterioran o afectan el propio agroecosistema disminuyendo su capacidad productiva y, por lo tanto, poniendo en duda su sustentabilidad.

2.1. Impacto o consecuencias para otros agroecosistemas

2.1.1. Contaminación por plaguicidas

En la actualidad casi no se concibe la posibilidad de una agricultura sin el aporte de los agroquímicos. La aparición de los plaguicidas de síntesis abrió una nueva era en el control de las principales adversidades bióticas que limitaban la producción de los cultivos. Había llegado la época dorada; no más problemas de producción. El bajo costo de estos productos, su fácil aplicación, el desconocimiento y la falta de conciencia acerca de su impacto sobre el ser humano y los ecosistemas, hicieron que se difundieran de una manera sorprendente. El desarrollo de los plaguicidas de síntesis fue recibido como un triunfo del hombre sobre la naturaleza. A tal punto, que el químico Paul Müller, recibió en 1948 el premio Nóbel, por haber desarrollado el DDT. Sin embargo, la ilusión duró sólo unos pocos años. Desde que en 1964 Rachel Carson publicara su famoso libro *La primavera silenciosa* (Carson, 1964) la peligrosidad de los plaguicidas fue puesta en evidencia con una crudeza inusitada y las cosas ya no volvieron a ser como antes. Mc Ginn (2000) señala que, irónicamente, los mismos pesticidas que hoy son puestos en las listas negras de numerosos países (por su extrema peligrosidad), fueron vistos durante muchos años como un símbolo del triunfo del hombre sobre la naturaleza. En este sentido, 9 de los 12 productos químicos más peligrosos que existen, denominados como la "docena sucia", fueron desarrollados y promovidos como insecticidas o fungicidas para su uso en la agricultura. Ellos son el Aldrin, Clordano, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptacloro, Hexacloro, "Mirex" y "Toxafeno". Estos productos, definidos como contaminantes orgánicos persistentes, conocidos por su sigla en inglés como POP (persistent organic pollutants), poseen la característica de ser muy tóxicos, acumularse en la cadena alimenticia, ser persistentes en el ambiente y tener el potencial de viajar largas distancias desde su punto de liberación (Opschoor & Pearce, 1991). Estos compuestos, liberados entre 1942

(DDT) y 1959 ("Mirex"), están actualmente prohibidos o restringidos en varios países del mundo. Sin embargo, Mc Ginn (2000) advierte que, en la actualidad, tenemos en nuestro cuerpo 500 compuestos químicos que no existían antes de 1920. Muchos de ellos originados en esta idea de agricultura.

Por otra parte, cada año un millón de personas se intoxican en forma accidental por el uso de pesticidas (PNUMA, 1990), y este riesgo es mucho más elevado en la población rural expuesta permanentemente al contacto con los plaguicidas que en el resto. Un estudio hecho en Kansas, EE.UU., encontró que los trabajadores rurales expuestos a herbicidas tenían 6 veces más probabilidades de contraer un tipo de cáncer que los trabajadores no rurales (Hoar *et al.*, 1986) y en Nebraska, quienes manipulaban el herbicida 2,4-D tuvieron 3 veces más riesgo de contraer ese cáncer (Hoar *et al.*, 1988).

A su vez, hay que tener en cuenta los efectos indirectos del uso de plaguicidas, tal como los accidentes producidos por las fábricas de agroquímicos, que en algunas partes del mundo han provocado verdaderas catástrofes, como el caso Bhopal, India, en 1984, donde murieron 2.400 personas.

Además de los efectos sobre la población rural o relacionada directamente con las actividades agropecuarias, el uso de plaguicidas pone en peligro la salud de los consumidores de estos productos, lo que está siendo percibido cada vez con más claridad por la opinión pública. Análisis efectuados por el Laboratorio del Mercado Central de la Ciudad de Buenos Aires (Argentina), durante 1988 y 1989, mostraron que el 29,5 y el 14,2 % de las muestras de papa y apio respectivamente, presentaban restos de plaguicidas superiores a los niveles tolerables, por lo que debieron ser consideradas no aptas para el consumo (Limongelli *et al.* 1991). En los EE.UU., un 26% de 15 frutas y hortalizas evaluadas por el Departamento de Agricultura de la Florida, mostraron la presencia de 2 o más pesticidas, entre ellos alguno prohibido como el DDT (Florida Department of Agriculture, 1987).

2.1.2. Contaminación de los cuerpos de agua

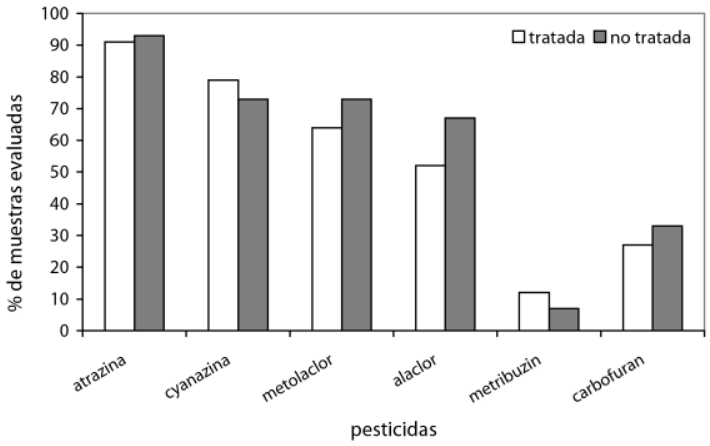
La contaminación de las aguas es, probablemente, el mayor efecto ambiental de la agricultura. En los EE.UU., se considera a la agricultura como la mayor fuente de polución de los cursos de agua superficiales, arroyos, lagos, embalses y ríos (NRC, 1989). Existen cada vez más evidencias de contaminación de las aguas destinadas al consumo con plaguicidas y/o con derivados de fertilizantes (como los nitratos), sobre todo en países desarrollados donde se hace un mayor consumo de agroquímicos (Newbould, 1989). En los EE.UU. se ha estimado que entre el 50 y 70% de todos los nutrientes que alcanzan los cursos de agua superficiales, provienen de prácticas agropecuarias tales como la aplicación de fertilizantes o abonos animales (NRC, 1989). Este daño ocasiona pérdidas anuales de un monto que varía de 2 a 16 miles de millones de dólares (NRC, 1989).

En los estados del cinturón maicero de los Estados Unidos, existen datos que demuestran la contaminación de las aguas, aún después del tratamiento de potabiliza-

ción, con herbicidas e insecticidas (Figura 1). En algunos casos con valores por encima de los umbrales permitidos, y con productos que están prohibidos desde hace varios años. En el estado de IOWA se encontró que un 82% de las muestras de agua superficiales utilizadas para bebida humana contenían 2 o más pesticidas. Entre estos, los herbicidas más usados en la región para la producción de maíz, como el Alaclor y Atrazina, ambos considerados con posibles efectos cancerígenos por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (NRC, 1989). Aparentemente, muchos de estos herbicidas no son fácilmente eliminados del agua potable por los tratamientos convencionales o por los sistemas más sofisticados de filtros de carbón activado.

Figura 1

Porcentaje de muestras que presentaron restos de plaguicidas en el agua tratada para su potabilización y no tratada, en el estado maicero de IOWA, EE.UU (NRC, 1989)



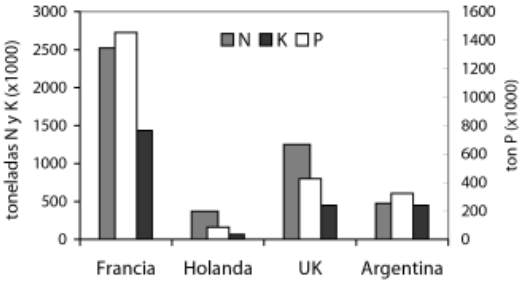
El efecto de las prácticas agrícolas también se manifiesta en el deterioro de las reservas de agua subterránea. Un 25% de los estados de EE.UU. tienen niveles de nitratos en aguas subterráneas superiores al límite recomendado de 3mg.l^{-1} y en algunos supera el nivel de 10mg.l^{-1} (NRC, 1989). En la Argentina, aunque no existen suficientes datos sobre la contaminación por plaguicidas de las aguas subterráneas como para cuantificar la dimensión del problema (Requena, 1991), se ha citado un aumento en el número de casos de metahemoglobinemia (enfermedad relacionada con los nitratos en agua), en la población escolar de zonas hortícolas del Gran Buenos Aires, que se caracterizan por la aplicación intensiva de fertilizantes (Catoggio, 1991).

La contaminación de los cuerpos de agua por exceso de fertilizantes es un grave problema en países desarrollados o industrializados donde la agricultura se realiza de forma muy tecnificada y con "métodos modernos". En estos países, los elevados rendimientos están basados en altas dosis de uso de fertilizantes y otros insumos. Como ejemplo, basta comparar los consumos de fertilizantes nitrogenados, fosforados y potásicos (N, P y K)

en países como Francia, Holanda y el Reino Unido, con los de la Argentina (Figura 2). Estos países, con una superficie casi 7 (Francia) o 100 veces (Holanda) menor a la de la Argentina tienen un consumo por país superior o igual a este.

Figura 2

Consumo de fertilizantes nitrogenados, fosforados y potásicos por países, año 1998. Fuente FAO.



La aplicación de estos altos niveles de fertilizantes disminuye enormemente su eficiencia de uso por los cultivos, generando un excedente importante que termina en los cuerpos de agua. En algunos países de la Unión Europea existe preocupación por el exceso de N que, a través de los procesos de lixiviado o escorrentía, termina en los cuerpos de agua, o que se escapa a la atmósfera en estado gaseoso originando problemas de otra magnitud. En Holanda, este exceso de N puede llegar a 187 $kg.ha^{-1}$ en tierras de cultivo y hasta 407 $kg.ha^{-1}$ en las actividades ganaderas de producción de leche (Brower, 1998). El Reino Unido y Francia están citados también como países con alto grado de exceso de N. Esto está estrechamente relacionado con el tipo de agricultura que se realiza. En Noruega se evaluó el balance de N en diferentes sistemas y se encontraron salidas o pérdidas de 18 y 25 $kg.N.ha^{-1}$ siendo mayores los valores en los sistemas convencionales y menores en aquellos con manejo ecológico (Korsaeth & Eltun, 2000).

2.1.3. La colmatación y/o eutroficación de los embalses

La colmatación de embalses por arrastre de sedimentos o deposición de nutrientes, principalmente en zonas de regadío donde se hace un uso intensivo de fertilizantes, es otra consecuencia importante de las actividades agrícolas.

A pesar de lo que generalmente se cree, el principal problema de la erosión no está tan relacionado con la pérdida de productividad de los suelos, sino con su efecto fuera del agroecosistema, sobre los cuerpos de agua. Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, este efecto es económicamente 8 veces más importante que la pérdida de productividad (USDA, 1987). Los sedimentos arrastrados ocasionan turbidez al agua, afectando la captación de luz por las plantas acuáticas y por lo tanto a quienes se alimentan de ellas. Esto disminuye la calidad del agua en cuanto a su uso recreacional,

navegable y aumenta los costos de procesamiento de la misma para consumo humano.

La eutroficación de los cuerpos de agua por exceso de nutrientes es otro problema bastante común en países que utilizan grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados y fosforados. Esto disminuye la calidad del agua para consumo humano o uso recreacional, por la proliferación de algas y plantas acuáticas. En algunos casos, estos organismos pueden producir olores desagradables e incluso toxinas que pueden ocasionan mortandad masiva de peces, aves o mamíferos. Las medidas de control y remediación implican importantes inversiones económicas.

2.2. Problemas para la sustentabilidad de los agroecosistemas: La agricultura moderna: ¿una actividad sustentable?

La agricultura ha sido considerada, desde siempre, como la actividad de uso racional y renovable de los recursos naturales por excelencia. Sin embargo, ¿Es realmente una actividad renovable? Comparada con otras actividades puramente extractivas como la explotación de petróleo o la minería, aparece como una actividad sustentable en el tiempo. O, lo que es similar, que utiliza un capital natural renovable que produce un flujo continuo de bienes y servicios. Es cierto que los cultivos crecen todos los años (al menos los anuales) y que pueden ser cosechados también anualmente sin que ello signifique reducir, teóricamente, su capacidad de regeneración. Pero ¿Qué recursos se utilizan para hacer esto posible? La capacidad de las plantas de transformar energía luminosa en energía química a través del fenómeno de la fotosíntesis está condicionada, en los sistemas agrícolas modernos, por el suministro de ciertos recursos que no pueden considerarse totalmente renovables, como combustibles fósiles y recursos minerales. Este tipo de capital se caracteriza por tener capacidad regenerativa nula o cercana a cero.

Algunas características de los sistemas modernos de producción de alimentos y sus consecuencias, permiten dudar de la afirmación que la agricultura pueda ser considerada un ejemplo de recurso renovable por excelencia. Entre estas pueden citarse (de Sarandón & Sarandón, 1993, modificado):

1) Una dependencia creciente de combustibles fósiles y la disminución de la eficiencia productiva en términos energéticos.
2) Pérdida de la capacidad productiva de los suelos, debido a la erosión, degradación, salinización y desertificación de los mismos.
3) Pérdida o merma de los nutrientes de los suelos debidas al desbalance entre la exportación y la reposición, junto con lixiviación y baja eficiencia en el uso de fertilizantes.
4) La disminución del nivel de los acuíferos por mal uso del agua para riego.
5) La dependencia creciente de agroquímicos (insecticidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes, etc.).
6) El desarrollo de resistencia a los plaguicidas de ciertas plagas y patógenos.

7) La pérdida de variabilidad genética de los principales cultivos (erosión génica).
8) El desplazamiento de algunas técnicas de cultivo propias de agricultores tradicionales por la tecnología moderna, supuestamente de aplicación universal (erosión cultural).

2.2.1. Disminución de la eficiencia energética

A pesar de que el rendimiento de los cultivos ha aumentado en las últimas décadas, la eficiencia energética (energía cosechada por unidad de energía utilizada) ha disminuido peligrosamente como en el caso de la producción de maíz en Estados Unidos (Masera & Astier, 1993). Según Pimentel *et al.* (1990) desde el año 1700 hasta 1900 el incremento en el uso de la energía (principalmente fósil) aumentó 17 veces, mientras que, en el mismo período, los rendimientos del maíz aumentaron sólo 3 veces. En China, Dazhon & Pimentel (1990) citan que desde 1950 la energía utilizada en la agricultura (con el advenimiento de los fertilizantes sintéticos, pesticidas y maquinaria) aumentó unas 100 veces para incrementar los rendimientos 3 veces. Esto significa que cada vez se requiere más energía para producir aumentos en los rendimientos.

En cierto sentido, la agricultura moderna de altos insumos consiste en transformar la energía proveniente de los combustibles fósiles en alimentos o fibra. Energía que ha tardado millones de años en acumularse se está consumiendo a un ritmo excesivamente acelerado. Sin embargo, la humanidad aún no ha tomado conciencia clara de este problema. Un ejemplo de ello es que todavía es común oír hablar de la "producción" de petróleo de un país, cuando es obvio que el petróleo no se produce sino que se extrae. La explotación petrolera es una actividad minera y no productiva y la posibilidad de mantener este ritmo de extracción por mucho tiempo, parece totalmente improbable

2.2.2. Pérdida de la capacidad productiva de los suelos

La erosión de los suelos constituye otro grave problema actual y futuro. Según PNUMA (1990), cada año el mundo tiene 80 millones más de personas para alimentar y 20.000 millones de toneladas menos de suelo para cultivar. En la Argentina, 24 millones de hectáreas sufren erosión hídrica o eólica severa o grave, y otros 22 millones de hectáreas presentan una erosión moderada (FECIC, 1988).

El uso excesivo y/o inadecuado de la maquinaria agrícola condujo, en algunos casos, a un exceso de laboreo que se tradujo en mermas en la capacidad productiva de los suelos. La pérdida de la estructura del suelo, con la aparición de problemas de encostramiento (planchado) y piso de arado, disminuye la capacidad de infiltración de agua y requiere un aumento en el número de labores para mantener el suelo en condiciones productivas. Este exceso de laboreo disminuye, a su vez, el contenido de materia orgánica y por lo tanto la fertilidad, provocando el incremento en el uso de fertilizantes sintéticos para restituirla. Esto implica, a su vez, un aumento en la demanda de energía necesaria para la síntesis y fabricación de dichos fertilizantes.

Un ejemplo notorio de esto lo tenemos en la "Pampa Ondulada", Argentina. La

introducción de la soja en la década del 70, en reemplazo del maíz, y la agricultura permanente (rotación trigo-soja), con uso del arado de reja y vertedera, han sido responsabilizadas de la pérdida de 5 a 20 cm de la capa superficial del suelo en una superficie de 1.280.000 has, que representan el 32% de una de las regiones más productivas del país (Senigagliesi, 1991). En sólo 20 años, millones de toneladas de la mejor tierra han ido a parar a los cursos de agua, arrastrando nutrientes indispensables para mantener la productividad de los cultivos y provocando otros problemas derivados de la acumulación de sedimentos en los cuerpos de agua.

La aparición y difusión de la siembra directa, sin remoción del suelo, ha sido una respuesta en este sentido. Su implementación soluciona, a corto plazo, un grave problema como es la erosión, pero a su vez, puede generar otros problemas como cambios en la comunidad de malezas (hacia otras más agresivas), necesidad de uso de mayores dosis de fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas. Las soluciones puntuales a problemas complejos pueden generar, en un futuro inmediato, otros problemas de distinto signo, pero de igual magnitud.

2.2.3. Pérdida de nutrientes

La pérdida de nutrientes es otro problema importante y la contracara de lo que sucede en algunos países industrializados. En La Pampa Húmeda Argentina se ha producido un aumento de la superficie donde se observa respuesta positiva a la aplicación de fertilizante fosforado, indicando un déficit creciente de este nutriente por falta de reposición en cantidades adecuadas (Darwich, 1991). Un estudio hecho en Ecuador, mostró pérdidas importantes de nutrientes (42 $kg.ha^{-1}$.año) en el ámbito nacional principalmente a través de la erosión de suelos por la realización de cultivos con técnicas inadecuadas en zonas con pendiente donde sólo debería haber pasturas permanentes (Koning *et al.*, 1997)

2.2.4. Deterioro de acuíferos

Otro efecto importante de la agricultura está relacionado con el aumento de las superficies bajo riego, teniendo en cuenta que las actividades agrícolas son responsables de más del 85% del uso consuntivo del agua del planeta (NRC, 1989). Postel (2000) señala que, de todas las vulnerabilidades que caracterizan a la agricultura bajo riego en la actualidad, ninguna parece mayor que la disminución de los niveles de los acuíferos. Y esto está motivado, en parte, porque los agricultores usan el agua a una velocidad mayor que la capacidad de recarga, a veces con el objetivo de maximizar los rendimientos en cultivos de alto valor pero poco eficientes en el uso del agua.

Existe actualmente en nuestro país, y en otros países del mundo, un crecimiento importante de las áreas bajo riego de grandes cultivos en zonas tradicionalmente de secano, basado, fundamentalmente en el uso del agua subterránea. Este aumento de la superficie bajo riego tiene importantes efectos sobre la disminución de los niveles de los acuíferos. En la India, el nivel de las napas de agua está diminuyendo a un ritmo de 0,50 m

por año en grandes áreas de la zona del Punjab (Postel, 2000). En ciertas regiones de EE.UU., en el 45% del área irrigada el acuífero está disminuyendo a un ritmo de 0,30 m por año y en Nebraska a unos 0,60 m por año. En las grandes planicies del Norte de Texas, donde la recarga del acuífero es lenta, este ha disminuido a niveles que restringen su uso agrícola (NRC, 1989). El avance de la superficie con riego complementario en la Argentina, especialmente para el cultivo de maíz, hacen necesario estudios tendientes a evaluar el impacto que su masificación originaría sobre estas zonas. Por otra parte, deben tenerse en cuenta los aumentos en los costos de perforación para obtener agua potable para los pobladores de las ciudades al aumentar la profundidad del nivel acuífero.

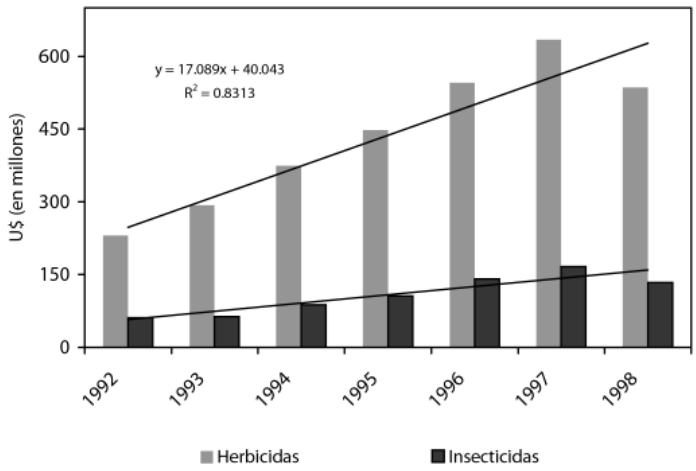
A su vez, el uso de riego está asociado con un aumento en las dosis de agroquímicos, principalmente fertilizantes, los que resultan necesarios dentro de un paquete tecnológico de mayores insumos. Por lo tanto, también aumenta el riesgo de percolación y contaminación de los acuíferos.

2.2.5. Dependencia creciente de agroquímicos

La agricultura moderna depende cada vez más del uso de agroquímicos. Más aún, mucha gente no puede concebirla sin su uso. A pesar de las promesas de control total de plagas que surgieron cuando aparecieron los primeros pesticidas, estos no sólo no han erradicado las plagas, sino que cada vez son más necesarios. En los últimos 50 años, el uso de pesticidas se ha incrementado 26 veces. La Argentina no es la excepción (Figura 3). El uso de herbicidas e insecticidas ha aumentado sustancialmente en los últimos años mostrando una tendencia preocupante. Incluso, aunque en algunos países industrializados su uso ha declinado, la toxicidad de los principios activos es entre 10 y 100 veces mayor, por lo que la cantidad de producto liberado sigue aumentando (Mc Gill, 2000).

Figura 3

Evolución del consumo de herbicidas e insecticidas en la República Argentina en el período 1992-1998 y líneas de tendencia. Fuente CASAFE, 1999.



2.2.6. Resistencia creciente a los plaguicidas

Otro de los problemas importantes es la pérdida de eficiencia de los plaguicidas debido al desarrollo de resistencia por parte de las especies plagas. Para el año 1989, 504 especies de insectos ya habían desarrollado resistencia a uno o más pesticidas (PNUMA, 1990), lo que implica el uso de nuevos productos y/o de mayores dosis a intervalos más cortos para obtener el mismo resultado. Además, el uso indiscriminado de plaguicidas provoca la eliminación de depredadores naturales y aumenta la probabilidad de aparición de plagas nuevas y más vigorosas.

Tal vez uno de los ejemplos más dramáticos en este sentido es el del control del picudo del algodón en Nicaragua en la década del 60 (Sweezy & Faber, 1990). Luego de 10 años de aplicación de plaguicidas el número de plagas económicamente importantes había aumentado de 5 a 9, los rendimientos cayeron hasta un 30% y el picudo del algodón adquirió 10 veces más resistencia al Metilparathión que antes. En casos extremos los campos se trataban hasta 35 veces en una temporada, llegando el costo de estas labores al 32% del costo total de producción. Asimismo, una plaga secundaria, como la oruga del algodón *(Heliothis zea)* adquirió 45 veces más resistencia al Metilparathión que antes, transformándose en un problema adicional.

En California, de las 25 pestes más serias listadas por el Departamento de Agricultura del Estado de California en 1970, 18 eran resistentes a uno o más insecticidas y 24 habían sido originadas por el uso de pesticidas o agravadas por ellos (Luck *et al.*, 1977).

A esto hay que agregar el efecto destructivo potencial de los plaguicidas sobre la microflora y microfauna del suelo (no suficientemente estudiado), esenciales en los procesos de descomposición de residuos vegetales y en el reciclaje de nutrientes.

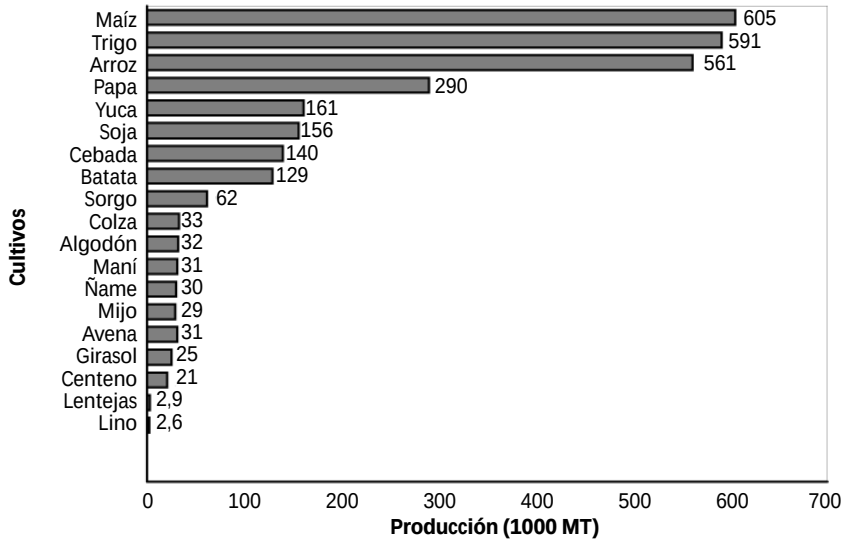
2.2.7. Pérdida de biodiversidad y erosión genética

La producción agropecuaria está relacionada también con otros efectos negativos para la calidad del ambiente, cuyas consecuencias pueden parecer menos evidentes por presentarse en una escala más global. Uno de ellos es la pérdida de biodiversidad y la extinción acelerada de especies. Según PNUMA (1990) cada día desaparecen 100 especies de la faz de la tierra, en algunos casos debido a la expansión de la frontera agropecuaria que destruye sus hábitats naturales. Pero también, la 3º Conferencia de las Partes de la Convención de Diversidad Biológica, reconoce claramente que "el uso inapropiado y la excesiva dependencia en agroquímicos han producido un substancial efecto negativo sobre ecosistemas terrestres, incluidos organismos del suelo, costas y acuáticos, perjudicando, por lo tanto, la diversidad biológica de diferentes ecosistemas" (UNEP, 1997). La interrelación entre agroecosistemas y ecosistemas naturales es estrecha y evidente. La idea que puede "salvarse al planeta con plaguicidas y plásticos" (Avery, 1998), se estrella con las leyes naturales de la ecología que no reconocen estas fronteras artificiales entre ecosistemas naturales y domesticados.

La pérdida de variabilidad genética de los principales cultivos es otro de los graves problemas a afrontar. La agricultura de por sí implica una reducción en la biodiversidad natural de los ecosistemas para reemplazarla por una población artificial de uno o pocos cultivos en grandes áreas. Pero la agricultura actual ha reducido esta diversidad al máximo. De las cerca de 80.000 plantas comestibles que se considera que existen, sólo se usan unas 200, y únicamente 12 son alimentos básicos importantes de la humanidad (FNUAP, 1991). Esto se ve claramente cuando se analizan las producciones anuales mundiales de los principales cultivos (Figura 4). La producción de los 3 cultivos más importantes (arroz, trigo y maíz), de los 19 que aparecen en esta figura, supera la suma de todos los demás y representa aproximadamente un 60 % de la producción mundial total.

Figura 4

Producción mundial anual de los principales cultivos. Fuente: FAO (1999)



Esta baja diversidad se ve agravada por el hecho de que en varios países se utilizan sólo unas pocas variedades (las más "exitosas") de estos cultivos en amplias superficies, aumentando la fragilidad del sistema y el riesgo de que el ataque de una plaga o patógeno pueda provocar efectos devastadores en la producción de alimentos.

Un estudio efectuado en EE.UU. mediante el uso de electroforesis de isoenzimas y cromatografía de zeína en 88 híbridos de maíz, identificó 49 de ellos como genéticamente idénticos mientras que los otros 39 se agruparon en 6 categorías que fueron imposibles de separar por estas técnicas (Smith, 1988). Lo mismo sucede con el ganado, ya que en EE.UU. el 90% del ganado lechero es de la raza Holstein y de los 1000 toros que

se usan para inseminación artificial, la mitad son hijos de los 10 mejores de la generación anterior (US Office of Tech. Assessment, 1987). Como un ejemplo del peligro de la uniformidad genética sobre la fragilidad de los agroecosistemas, basta recordar los casos de los cultivos de papa en Irlanda en el siglo XIX (1845 y 1846) y de maíz en Estados Unidos en 1970 y 1971, donde grandes superficies cultivadas con unas pocas variedades muy susceptibles fueron destruidas por enfermedades.

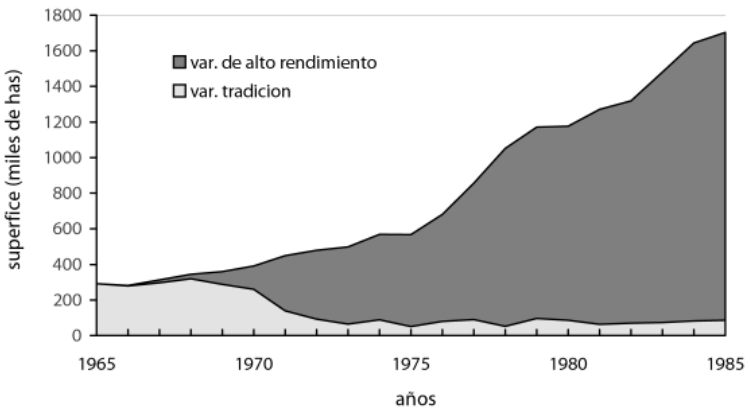
La falta de variabilidad genética restringe a su vez las fuentes potenciales de resistencia a plagas, enfermedades y adaptación a condiciones desfavorables (sequías, salinidad, bajas temperaturas etc.).

2.2.8. La erosión cultural: la soberbia y el desconocimiento de algunos científicos

El menosprecio y desconocimiento de las técnicas tradicionales de cultivo, y de sus bases ecológicas y culturales, provocó que durante mucho tiempo éstas fueran desplazadas y reemplazadas por "tecnología moderna más eficiente". Esto generó una gran erosión cultural que tiene enormes repercusiones en los intentos de conservación de germoplasma *in situ*. Un ejemplo de esto lo señala Shiva (1991) con la introducción de las variedades "milagrosas" de la revolución verde en la India, y la disminución de la superficie sembrada con numerosas variedades tradicionales que se fueron perdiendo al reemplazarse por pocas variedades modernas (Figura 5). Muchas variedades y ecotipos de plantas de cultivo han desaparecido para siempre de la faz de la tierra.

Figura 5

Impacto de la Revolución Verde en la India: difusión de nuevas variedades de arroz y desplazamiento de las tradicionales. Confeccionado a partir de datos de Shiva (1991)



En la actualidad, algunos científicos han reconocido el error y están revalorizando la cultura de los agricultores tradicionales y sus métodos de cultivo, ya que ellos pueden conservar el germoplasma en coevolución con los cambios del ambiente, cosa que no puede hacerse con la conservación *ex situ* en los grandes centros internacionales o ban-

cos de germoplasma. Asimismo, se reconoce que el mantenimiento de la diversidad cultural es imprescindible para el mantenimiento de la diversidad biológica, ya que no puede cultivarse lo que no se conoce.

De lo expuesto hasta aquí, surge que el manejo irracional de los agroecosistemas y el divorcio entre los principios ecológicos y la producción agropecuaria pone en peligro tanto la calidad del ambiente como la capacidad productiva del mismo. Debido a que el manejo de los sistemas agropecuarios altamente tecnificados se basa en: la utilización en forma ineficiente de energía proveniente principalmente de fuentes no renovables (combustibles fósiles), prácticas de uso intensivo del suelo (con deterioro de sus propiedades productivas), agotamiento de un recurso vital como el agua, la aplicación creciente de plaguicidas cada vez menos eficientes y el uso de un número limitado de variedades mejoradas de cultivos (cuya base genética está agotándose), esta agricultura no puede considerarse sustentable por mucho tiempo.

Debemos pues, cambiar este estilo de agricultura si queremos pensar en las generaciones futuras o, como dice Bright (2000), debemos tratar de anticiparnos a la "sorpresa" ambiental porque la naturaleza no tiene un botón de "reset" para apretar y comenzar de nuevo.

3. Analizando las causas

Hacer un diagnóstico preciso de las razones que han llevado a esta situación no es una tarea sencilla. Sin embargo, pueden reconocerse algunas causas asociadas a la no sostenibilidad de la agricultura y/o limitaciones para lograrla

- Visión cortoplacista y productivista con que se ha encarado la producción agrícola moderna. El rendimiento de pocos cultivos como sinónimo indiscutido de éxito.
- Visión atomista y/o reduccionista del mundo y del método de adquirir los conocimientos
- El triunfo de la Revolución Verde. El ambiente al servicio del genotipo o cultivar.
- Confianza ilimitada en la tecnología (optimismo irracional). Incapacidad de percibir el agotamiento o degradación de los recursos productivos.
- Insuficiente conocimiento sobre el funcionamiento de los agroecosistemas. Se prioriza el conocimiento de los componentes de un sistema, por sobre el de las interacciones entre ellos.
- Falta de asociación entre las actividades agrícolas y la ecología. Agrónomos vs. Ecólogos.
- Deficiente formación de los profesionales y técnicos de la agronomía en conceptos de la agricultura sustentable y manejo de agroecosistemas.
- Falta de percepción de la necesidad de incorporar el costo ambiental en la evaluación del éxito económico de las actividades agropecuarias. La falsa ilusión de riqueza: destrucción del capital, "socialización" del costo y "privatización" de la ganancia.
- Ausencia de una metodología adecuada para evaluar la sustentabilidad de las prácticas agrícolas.

- El mercado como mecanismo poco adecuado para valorar los bienes ambientales. "El precio no es sinónimo de valor".

En primer lugar, es necesario tomar conciencia de que los problemas mencionados no son una consecuencia lógica e inevitable de la actividad agrícola, sino de una manera de concebir y practicar la agricultura. Durante mucho tiempo se consideró que éstas eran las consecuencias no deseadas de la actividad agrícola como tal y que, por ello, no quedaba más remedio que cerrar los ojos y soportarlas lo mejor posible. Sin embargo, hoy esta idea ya no se admite.

3.1. El enfoque reduccionista

Parte de los problemas expuestos pueden atribuirse al enfoque reduccionista, productivista y cortoplacista con que se ha encarado la producción agrícola hasta ahora. Se ha considerado, y se considera al rendimiento como una de las variables más importantes para medir el éxito de un emprendimiento agropecuario. Basta con ver los periódicos, en la época de venta de semillas para determinados cultivos, exaltando los rendimientos obtenidos por determinados productores que han usado esas semillas. Nada se dice del costo necesario para obtener estos niveles de rendimiento, ni del impacto ambiental que genera la tecnología asociada y, mucho menos, durante cuánto tiempo podrán sostenerse estos niveles de producción.

La difusión generalizada de este enfoque en la producción agropecuaria puede atribuirse a dos hechos importantes. El primero, común a la ciencia en general, es la influencia de René Descartes cuando, con la publicación del *Discurso del Método (1637),* sienta las bases del racionalismo científico moderno donde considera que, para abordar un problema complejo, éste debe reducirse a lo más simple dividiendo la cuestión en partes tan menudas como sea posible. Del análisis por separado de todas las partes podrá llegarse luego a la comprensión del todo. Este método de razonamiento, aunque ha permitido a la ciencia avanzar enormemente desde entonces, no siempre resulta adecuado para la resolución de problemas más complejos como el manejo de los agroecosistemas desde una óptica integral. Esto ya fue reconocido por el Consejo Nacional de Investigaciones de EE.UU. (NRC, 1991) al concluir que las investigaciones basadas en una sola disciplina tienen limitaciones cuando se usan para resolver problemas más complejos y que para ello debe usarse el análisis de sistemas.

3.2. La filosofía de la Revolución Verde: el ambiente al servicio del potencial de rendimiento de los cultivares

Otro hito, propio de las ciencias agropecuarias es la influencia de la filosofía de la denominada "Revolución Verde". Bajo esta concepción, la investigación y el desarrollo

de los modernos sistemas de producción de alimentos fueron orientados a la búsqueda de paquetes de tecnologías generales y universales, destinados a maximizar el rendimiento del cultivo bajo una amplia gama de situaciones ecológicas. La capacidad potencial de los cultivos debía ser llevada al máximo, proporcionándoles las condiciones ecológicas ideales, eliminando con plaguicidas a los competidores (malezas) y depredadores (plagas y patógenos), y suministrando los nutrientes necesarios, en forma de fertilizantes sintéticos. La idea subyacente era modificar el ambiente (insumos mediante) adecuándolo al genotipo para que este pueda expresar todo su potencial de rendimiento. Ya no era necesario tener y conocer un gran número de variedades adaptadas a diferentes condiciones; unas pocas y bien rendidoras era todo lo que se necesitaba, siempre y cuando se les dieran las condiciones necesarias para expresar todo este potencial.

El "éxito" de este enfoque fue tal que en 1970 se le otorgó el premio Nóbel de La Paz a su principal impulsor, el Dr. Norman Borlaug. Sin embargo, él deja entrever algunos problemas derivados de la filosofía de la revolución verde cuando, en 1969 analiza los resultados de la aplicación del programa de la Fundación Rockefeller en México (Borlaug, 1969). Allí reconoce que "las malezas que no representan un problema en suelos con baja fertilidad, se vuelven agresivas cuando se aplica fertilizante" y que "en México no se conocían problemas de insectos en el trigo cuando el programa se inició". Sin embargo, el uso de fertilizantes modificó el microclima de los cultivos de manera tal que se hizo más favorable para el desarrollo de enfermedades y plagas. Un ejemplo es el del áfido *Macrosiphum granarium* que nunca había sido plaga de importancia económica y llegó a causar serias pérdidas.

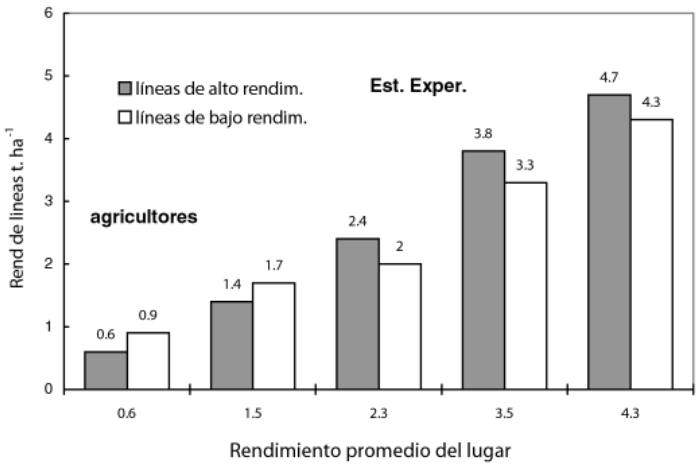
¿Por qué entonces, a pesar de esto, triunfó la revolución verde? Shiva (1991) analiza este aspecto y se pregunta si realmente las "semillas milagrosas" de la Revolución Verde fueron intrínsicamente superiores y más avanzadas que la diversidad de cultivos indígenas y variedades que ellas desplazaron. La autora considera que, en realidad, se hicieron comparaciones inequitativas y erróneas. En este sentido, el término variedades de alto rendimiento, que constituye un aspecto central del paradigma de la revolución verde, corresponde a una categoría reduccionista que usa, como vara de medición, el rendimiento de una parte de uno o unos pocos cultivos (la parte económica: grano), cuando la comparación correcta debería hacerse a nivel de sistemas. En las agriculturas desplazadas por estas variedades los sistemas de cultivos incluían una relación simbiótica entre suelo, agua, animales y plantas. La revolución verde reemplazó esto con insumos como semillas y fertilizantes.

En la actualidad se reconoce que los avances tecnológicos de la Revolución Verde o la tecnología convencional, no han constituido una respuesta eficiente a la heterogeneidad característica del sector rural, principalmente en Latinoamérica, ya que "sus recetas" no resultan siempre apropiadas para las comunidades que viven en tierras marginales o poco fértiles. Existe una conciencia creciente de que se está llegando a un límite y que, en general, las tecnologías en uso sólo se han enfocado sobre los mejores sitios (áreas de llanura),

con buena disponibilidad de agua y pocos impedimentos de suelo (NRC, 1991). Un ejemplo de esto es el del mejoramiento genético de ciertos cultivares. Según Cecarelli (1996), muchas veces la obtención de buenos cultivares en condiciones de estaciones experimentales no aseguran que estos funcionen bien en las condiciones de los campos de los agricultores, generalmente de menor calidad. Por el contrario, cultivares que a veces no demuestran un buen comportamiento en parcelas experimentales pueden funcionar mejor que los "buenos cultivares" en los campos de los productores, produciéndose una interacción genotipo-ambiente importante, como se muestra para el caso de la cebada en la Figura 6.

Figura 6

Interacción genotipo-ambiente: Cambios en el rendimiento de líneas de cebada de alto y bajo rendimiento, en condiciones de estación experimental y en condiciones de campos de agricultores. Construída a partir de datos de Cecarelli (1996)



3.3. Otras causas

Existen otras causas que han impedido o impiden el avance hacia una agricultura sustentable. Una de éstas es la confianza ilimitada (de agrónomos, productores y científicos) en la tecnología. Esto constituye un optimismo irracional pues no está basado en datos claros. Simplemente, se basa en el concepto: "si nunca ocurrió, tampoco va a ocurrir". Esto está relacionado también con la incapacidad de percibir el agotamiento o degradación de los recursos. A pesar de que, en algunos casos como el de pérdidas de suelo por erosión, esto no es tan difícil de observar, en otros casos no es algo tan sencillo de advertir ni de cuantificar, como la pérdida de la biodiversidad. Tampoco lo es en el caso de la disminución de las poblaciones de enemigos naturales que ejercen cierto control sobre las plagas de nuestros cultivos. Estos son recursos gratuitos que, una vez que se pierden, deben ser reemplazados por insumos (costosos) para mantener el sistema en funcionamiento.

Parte de estos problemas derivan de una deficiente comprensión o conocimiento del funcionamiento de los agroecosistemas. Desde el punto de vista de la formación de

profesionales en ciencias agrarias se reconoce que esta tecnología ha conspirado, además, contra la jerarquización de los conocimientos en ecología. En general, las carreras agronómicas han estado orientadas a proporcionar soluciones ingenieriles en agroecosistemas altamente intervenidos, lo que ha ocasionado problemas ambientales de gran magnitud (CUIP/UPM, 1992). Se ha priorizado generalmente el conocimiento de algunos componentes del sistema y no de las interrelaciones entre ellos. En mi experiencia como profesor de cursos de postgrado, he podido comprobar la dificultad que tienen los profesionales para realizar un modelo simplificado de un agrosistema, reconocer sus componentes, interrelaciones y sus entradas y salidas.

El enfoque centrado en la economía, constituida hoy en "la ciencia suprema" es otro problema o escollo para alcanzar una agricultura sustentable. La rentabilidad o margen económico de las actividades agropecuarias están basados en un concepto de economía que, como señala Daly (1997), pertenece a un mundo que no existe más, un mundo "vacío" donde lo que limitaba la producción era el capital hecho por el hombre y no el capital natural. Por esta razón este no era tenido en cuenta, ya que se consideraba inagotable. Hoy esto ha cambiado y es la cantidad y calidad del capital natural lo que pone un techo a la producción. La razón es bastante simple: con capital natural se puede generar dinero, pero éste no puede generar capital natural. La posibilidad de obtener rentabilidad aún a costa del deterioro del capital natural genera una "falsa ilusión de riqueza" que enmascara el verdadero resultado: no estamos viviendo del interés, en realidad nos estamos "comiendo" el capital. Esto está unido al hecho de que el mercado, que ha triunfado como mecanismo promotor de desarrollo, resulta poco apropiado para valorar los bienes ambientales, ya que estos pertenecen a aquellas cosas que tienen valor, aunque no se les pueda poner precio.

Otro impedimento para el logro de una agricultura sustentable es la falta de desarrollo de criterios y metodologías que permitan evaluar si se está yendo en el camino correcto. La sustentabilidad es un concepto complejo, de múltiples dimensiones, ya que encierra objetivos económicos, ecológicos, productivos, sociales y culturales y, además, temporales. Por lo tanto, su evaluación no es algo sencillo como sería comparar rendimientos. Se necesitan desarrollar indicadores que puedan simplificar esta complejidad y mostrar claramente las tendencias. (ver capítulo 20).

Otro de los problemas para su logro es la poca claridad acerca de lo que significa el concepto de agricultura sustentable.

4. El desafío: la agricultura sustentable

El mantenimiento y aumento de la productividad de los sistemas agropecuarios, junto con la conservación de los recursos naturales son hoy uno de los mayores desafíos que deberá enfrentar la humanidad en las próximas décadas. Se requiere desarrollar una agricultura que sea económicamente viable, suficientemente productiva, que conserve la

base de recursos naturales y preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global (Sarandón & Sarandón, 1993)

Pero, ¿Qué es o qué significa el término agricultura sustentable? Y, tal vez lo más importante: ¿Cómo se logra?

En primer lugar, la Agricultura sustentable no es un sistema en sí mismo, ni una serie de técnicas, ni una lista de recetas, sino que es más bien una idea, una filosofía, una manera de entender la producción agrícola. Tal vez una de las definiciones más conocidas sea la acuñada en 1987 por la Comisión Brundtland (WCED, 1987), según la cual el desarrollo sustentable es aquel que permite la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la posibilidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras. A pesar de que esta definición es polémica y que ha sido duramente cuestionada por su concepción de desarrollo (ver capítulo 3), es interesante porque introduce un nuevo concepto: el de la solidaridad con las generaciones futuras, es decir, con aquellos que aún no han nacido.

¿Cuáles son las condiciones que debería reunir una agricultura para ser considerada sustentable? A pesar de que esto es también difícil de determinar y no hay un acuerdo general, los siguientes lineamientos pueden servir de base para la discusión.

Para ser considerada sustentable la agricultura debería cumplir las siguientes condiciones:

1) Ser suficientemente productiva.
2) Ser económicamente viable
3) Ser ecológicamente adecuada (que conserve la base de recursos naturales y que preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global).
4) Ser cultural y socialmente aceptable.
5) Ser técnicamente posible.

Estas condiciones, necesarias para el logro de la agricultura sustentable aparecen como un intento importante de propiciar una producción que esté de acuerdo con la conservación del medio ambiente (ecológicamente adecuada), pero que a su vez permita la producción de alimentos en forma suficiente y de manera compatible con los intereses económicos del productor. Este último aspecto es fundamental porque no es posible el desarrollo de una agricultura ecológicamente apropiada basada en sentimientos altruistas de la humanidad. En este caso, no pasaría de ser una expresión de deseo, bien intencionada pero utópica.

Sin embargo, debemos ser conscientes que, de acuerdo a los actuales criterios económicos, una producción puede ser "económicamente rentable" a pesar de ser ecológicamente inadecuada, ya que los costos de producción no reflejan o incorporan el costo ecológico originado en nuestro agroecosistema ni en sistemas adyacentes. Se ha "socializado" el costo pero "privatizado" la ganancia: los costos los paga la sociedad o las generaciones futuras, pero la ganancia es del productor y ahora. Bajo este marco, es posi-

ble producir deteriorando el capital ecológico, por ejemplo el suelo, como ha sucedido en el caso citado de la Pampa Ondulada. Es evidente que para el logro de una producción sustentable en el tiempo deberán hacerse grandes esfuerzos por determinar e incorporar el costo ecológico en los cálculos de la rentabilidad de los sistemas agropecuarios.

A su vez, para que una agricultura sea sustentable deberá ser técnicamente factible lo que está íntimamente relacionado con el concepto de ser culturalmente aceptable. Durante mucho tiempo existió, y aún hoy existe, una desvinculación y separación entre la generación de tecnología y su aplicación, entre los científicos y los agricultores. Esto no es una sorpresa, ya que en el actual sistema de valoración, el éxito de los primeros no depende de la opinión de los productores, sino de los "papers" publicados en revistas de prestigio. En muchos casos, los adelantos tecnológicos, generados en grandes centros de investigación, debían transferirse a la mayor cantidad posible de productores, a través de los servicios de extensión. La no-adopción de esta tecnología por parte de algunos agricultores era atribuida a un desconocimiento, atraso o a recursos insuficientes, lo que se solucionaba a través del asesoramiento por especialistas o con el otorgamiento de créditos baratos respectivamente. Dentro de esta filosofía, la tecnología era considerada de aplicación universal y buena *"per se"*. Hoy en día existe una fuerte crítica a este punto de vista y hay una tendencia creciente a revalorizar la opinión del productor y su modo de ver las cosas. El Consejo Nacional de Investigaciones de los EE.UU. (NRC, 1991) al considerar las prioridades de investigación para una agricultura sustentable destaca que los investigadores deben revalorizar el conocimiento intrínseco o propio de los productores y aunar esfuerzos para mejorarlo. La "mejor" tecnología del mundo no sirve para nada si el productor no la aplica. La FAO, reconoció recientemente los errores cometidos en el modelo de agricultura que promovió por muchos años. Entre ellos el de haber fomentado un tipo agricultura basado en el uso de insumos externos que, según ellos, benefició más a los vendedores de insumos que a los propios agricultores (IICA, 1999).

Por todo lo expuesto hasta aquí surge que para el logro de una agricultura sustentable se requiere un manejo diferente de los sistemas agropecuarios que contemple todos estos aspectos, que pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Una producción eficiente y rentable (considerando el costo ecológico) con énfasis en mejores técnicas de manejo y conservación de suelos, agua, energía y recursos biológicos.
- Una disminución del riesgo debido a fluctuaciones ambientales (bióticas y abióticas) o de mercado. Lograr una mayor estabilidad en el tiempo.
- Un uso o degradación de los recursos naturales renovables a un ritmo menor o igual a su tasa de reposición.
- Un uso o explotación de los recursos no renovables a un ritmo menor o igual al de la tasa de desarrollo de tecnologías alternativas.
- Un aumento en la biodiversidad de los sistemas productivos.
- Una menor dependencia del uso de insumos externos (combustibles fósiles, plaguici-

das, fertilizantes sintéticos, etc.)
- Un uso más eficiente de la energía.
- Un mayor aprovechamiento de procesos naturales en la producción agrícola (reciclaje de materia orgánica y nutrientes, fijación de nitrógeno, y relaciones predador-presa).
- Una eliminación o disminución del daño al ambiente, a otras especies, y/o a la salud de agricultores y consumidores.
- Un ajuste de los sistemas de cultivo a la productividad potencial y a las limitantes físicas, económicas y socioculturales de los agroecosistemas.
- Un control de plagas y enfermedades basado principalmente en el uso de recursos locales sin agredir el medio ambiente.
- Un desarrollo y difusión de tecnologías que sean cultural y socialmente aceptables.

Este tipo de manejo permite diseñar sistemas más estables y con menores riesgos financieros. La diversificación puede también reducir las presiones económicas producidas por un aumento en el uso de pesticidas, fertilizantes, y otros insumos, caída de precios en el mercado y de algunas regulaciones que afectan la disponibilidad de ciertos insumos. Los principios y estrategias para el diseño de sistemas agrarios sustentables se abordan en otro capítulo del libro (ver capítulo 2).

Esta nueva agricultura requiere, un mayor y mejor conocimiento de los componentes del agroecosistema y de las interrelaciones entre ellos. Sin embargo, tradicionalmente se ha orientado la investigación y enseñanza, hacia una agricultura de altos insumos, intensiva en capitales y en tecnología, enfocando a los componentes individuales (cultivo, maleza, plaga o nutriente) y no al sistema ecológico sobre el cual se aplican estas tecnologías (Altieri, 1991).

Es indispensable entonces, un cambio en el enfoque o en la óptica con que se ha abordado hasta ahora la producción de los sistemas agropecuarios.

5. El enfoque agroecológico: requisito indispensable

A primera vista, pareciera que la ecología y la producción agropecuaria no tienen muchos puntos en común. Las imágenes más difundidas de la ecología se relacionan con problemas como el peligro de extinción de grandes mamíferos, la destrucción de los bosques, el reciclado de materiales, la disminución del espesor de la capa de ozono, etc. Pareciera que "el agro" está libre de problemas ecológicos. Sin embargo, como lo hemos mencionado en la primer parte de este capítulo, la producción agropecuaria está íntimamente asociada a problemas graves, originados, entre otras razones, por la falta de vinculación entre la agronomía y otras ciencias como la ecología y sociología.

En general, la ecología se ha preocupado del estudio profundo del funcionamiento de los sistemas naturales con poco interés en los sistemas agropecuarios. El énfasis de la

ecología ha estado centrado en el concepto de conservar más que en el de producir. Por otra parte los agrónomos nos hemos preocupado en producir, sin importarnos demasiado conservar. Estos diferentes puntos de vista motivaron que, durante mucho tiempo, los campos de la ecología y la agronomía estuvieran contrapuestos. Sin embargo, los conceptos y fundamentos de la ecología son fundamentales para el manejo racional de agroecosistemas. El aumento de sensibilidad de la gente frente a la problemática ambiental, junto con la aparición de los conceptos de la agricultura sustentable han hecho necesario aceptar, simultáneamente, los objetivos de ambas disciplinas (Jackson & Piper, 1989). No obstante, el manejo sustentable de los agroecosistemas, requiere abordar su estudio como un tipo especial de ecosistema, teniendo en cuenta las interacciones de todos sus componentes físicos, biológicos y socioeconómicos y el impacto ambiental que éstos producen.

El enfoque de la agroecología introduce claramente el componente social porque entiende que es el hombre el que decide modificar los ecosistemas naturales para transformarlos en agroecosistemas. El estilo de agricultura o la tecnología que elige depende de su entorno socioeconómico, cultural, sus conocimientos, intereses, su relación con la comunidad, etc. (ver capítulos 3 y 4). Desconocer este componente o minimizarlo, como muchas veces se ha hecho en las Facultades de Agronomía, es un grave error que ya ha generado consecuencias negativas.

Es necesario entonces, un nuevo paradigma que intente dar soluciones novedosas partiendo de la consideración de las interacciones de todos los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos de los sistemas agropecuarios integrando este conocimiento en el ámbito regional para una producción sustentable. Este nuevo enfoque es la Agroecología, que ha sido definida como el desarrollo y aplicación de la teoría ecológica para el manejo de los sistemas agrícolas, de acuerdo a la disponibilidad de recursos (Altieri, 1987).

La agroecología surge entonces como un nuevo enfoque, más amplio, que reemplaza la concepción puramente técnica por una que incorpora la relación entre la agricultura y el ambiente global y las dimensiones sociales, económicas, políticas y culturales. Presenta, por lo tanto, diferencias substanciales con el enfoque productivista de la agricultura convencional en lo que se refiere a enfoques, objetivos y técnicas, como se detalla en la Tabla 1 (página 44).

La agroecología es un enfoque superador de la problemática planteada ya que considera que los sistemas agrícolas deben percibirse como ecosistemas complejos con límites amplios, que incluyan el efecto ambiental que ejercen las prácticas agrícolas, incorporando el costo ambiental y social en la ecuación económica de la producción.

Sólo una adecuada toma de conciencia sobre la problemática de la agricultura, sus causas y la necesidad de la incorporación de los principios agroecológicos, con una óptica sistémica y holística podrá asegurar una producción de alimentos ecológicamente adecuada, económicamente viable y socialmente justa para nosotros y para las futuras generaciones.

Tabla 1

Algunos enfoques, objetivos y técnicas usualmente utilizados en un sistema agrícola realizado con un enfoque "tipo revolución verde o intensivo" y uno "agroecológico". (de Sarandón & Sarandón, 1993, modificado)

Revolución Verde Agricultura Intensiva	Enfoque Agroecológico Agricultura Sustentable
ENFOQUE	
Reduccionista.	Holístico.
Falta de una óptica sistémica.	Empleo de una óptica sistémica.
Importancia de los componentes.	Importancia de las interrelaciones.
Reducción o mala definición de los límites del sistema.	Ampliación y redefinición de los límites del sistema.
OBJETIVOS	
A corto plazo.	A largo plazo.
Concepto productivista.	Concepto sustentable.
Énfasis en el rendimiento.	Énfasis en el agroecosistema y ecosistemas relacionados.
No incorporación del costo ambiental.	Incorporación del costo ambiental.
Sistemas simples, baja diversidad (alta inestabilidad).	Sistemas complejos, alta diversidad. (alta estabilidad)
Biodiversidad como fuente de genes.	Biodiversidad como sistema de cultivo.
TÉCNICAS	
Fertilizantes sintéticos.	Fertilizantes orgánicos. Reciclado de nutrientes.
Uso intensivo del suelo	Uso conservacionista del suelo
Agricultura permanente	Rotación cultivos-praderas
Monocultivos	Policultivos
Control químico de plagas	Manejo Integrado de Plagas
Plantas transgénicas para el control de plagas	Manejo de la biodiversidad para el control de plagas
Conservación de la biodiversidad en bancos de germoplasma	Conservación de la biodiversidad *in situ*
Esterilización del suelo para control de patógenos	Aumento de la biodiversidad de microorganismos de suelo para control de patógenos.

Altieri MA (1987) Agroecology. The Scientific Basis of Alternative Agriculture. Westview Press, Boulder, Colorado.

Altieri MA (1991) Incorporando la agroecología al currículo agronómico. Texto Base para la Reunión CLADES/FAO, sobre Agroecología y Enseñanza Agrícola en las Universidades Latino Americanas. Santiago de Chile, 2-6 de Septiembre, 1991.

Avery D (1998) Salvando al planeta con plaguicidas y plásticos. El triunfo ambiental de la agricultura de altos rendimientos. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, Buenos Aires, 318 pp.

Borlaug N (1969) Mejoramiento de trigo: Su impacto en el abastecimiento mundial de alimentos. Tercer Simposio Internacional de Genética de Trigo, Canberra, Australia, 1968. CIMMYT, México, 40 Págs.

Bright (2000) Anticipating environmental "surprise". In: State of the World 2000. Wordlwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. WW Norton & Company, New York, London. Cap 2:22-38.

Brouwer F (1998). Nitrogen balances at farm level as a tool to monitor effects of agri-environmental policy. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 52:303-308.

Carson R (1994) The silent spring. New York, Fawcett.

CASAFE (1999). Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, Sitio Web, //www.casafe.org.

Catoggio JA (1991) Contaminación del agua. Causas de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Precipitaciones ácidas. Eutroficación; polución costera. Latinoamérica Medio Ambiente y Desarrollo. Programa de Medio Ambiente. Seminario Latinoamericano sobre Medio Ambiente y Desarrollo. San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro, Argentina. Octubre de 1990: 137-155.

Ceccarelli S (1996) Adaptation to low/high input cultivation. Euphytica 92:203-214.

CUIP/UPM (1992) Comisión Universidad Iberoamericana de Postgrado/Universidad Politécnica de Madrid, Informe de las Universidades Iberoamericanas a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, 58 págs, CUIP/UPM, Brasil, junio de 1992.

Daly HE (1997) De la economía del mundo vacío a la economía del mundo lleno. En: Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable: Más allá del informe Brundtland, R Goodland, H Daly, S El Serafy & B von Droste (Eds.) Editorial Trotta, Madrid: 37-50.

Darwich N (1991) Recursos Naturales. Pampa Húmeda Sur. INTA, Seminario Juicio a nuestra agricultura. Hacia un desarrollo sostenible. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires.: 51-63.

Dazhong W & D Pimentel (1990) Energy flow in Agroecosystems of Northeast China. In SR Gliessman (Ed.) Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture. Springer-Verlag: 322-336.

FAO (1999) Boletín Trimestral FAO de Estadísticas (1999) 12.

FECIC (Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (1988) El deterioro del ambiente en la Argentina, XXII + 497 págs., FECIC - PROSA, Buenos Aires, R. Argentina.

Florida Department of Agriculture (1987) Residue Testing Laboratory. Data compiled from the 1986-87 growing season, Florida Dept of Agriculture, Tallahase. Available from Environmental Health Research, Vero Beach, Fla. In: National Research Council (1989) Problems in US. Agriculture. In: Alternative Agriculture. Committee on the role of alternative farming methods in modern production agriculture. National Academy Press, Washington, DC 448 pp.

FNUAP (1991) Fondo de Población de las Naciones Unidas. La población y el medio ambiente: los problemas que se avecinan. 44 pgs.

Gardner G & B Halweil (2000) Nourishing the underfed and overfed. In: State of the World 2000. Wordlwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. WW Norton & Company, New York, London. Cap 4:60-78.

Harlan JR (1992) Crops & Man. Second edition. ASA, CSSA, Madison, Winsconsin, USA, 284pp.

Hoar SK, A Blair, FF Holmes, CD Boysen, RJ Robel, R Hoover & JF Fraumeni Jr. (1986) Agriculture herbicide use and risk of lymphomas and soft-tissue sarcoma. J. American Medical Association 2567 (9): 1141-1147.

Hoar SK, DD Weisenburger, PA Babbitt, RC Saal, KP Cantor & A Blair (1988) A case-control study of non-Hodgkin's lymphoma and agricultural factors in eastern Nebraska. American J. Epidemiology 128 (4): 901.

IICA (1999) Discurso de Severino De Melo Araujo,

Subdirector General de FAO para América Latina y el Caribe. XI Conferencia Latinoamericana de ALEAS. Abril 1997. Santiago, Chile. En: Educación Agrícola Superior, Desarrollo Sostenible, Integración Regional y Globalización, R Chateneuf, A Violic & E Paillacar (Eds): 9-13.

Jackson W & J Piper (1989) The necessary marriage between ecology and agriculture. Ecology 70 (6):1591-1593.

Koning GHJ, PJ van de Kop & LO Fresco (1997) Estimates of sub-national nutrient balances as sustainability indicators for agro-ecosystems in Ecuador. Agriculture, Ecosystems and Environment 65: 127-139.

Korsaeth A & R Eltun (2000) Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment in Norway. Agriculture Ecosystems & Environment, 79:199-214.

Limongelli JC, MC Rondinone & J Fernández Lozano (1991) Contaminación. Impacto de la contaminación en la calidad de los productos vegetales. INTA, Seminario Juicio a nuestra agricultura. Hacia un desarrollo sostenible. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires: 183-196.

Luck RF, R van den Bosch & R García (1977) Chemical insect control, a troubled pest-management strategy. Bioscience 27:606-611.

Masera O & M Astier (1993) Energía y Sistema alimentario en México: Aportaciones de la Agricultura Alternativa. En J Trujillo y P Torres-Lima (Eds.) Agroecología y Desarrollo Agrícola en México, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, México DF. 21 pgs.

Mc Ginn AP (2000) Phasing out persistent organic pollutants. In: State of the World 2000. Wordlwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. WW Norton & Company, New York-London: 80-100.

Newbould P (1989) The use of nitrogen fertilizer in agriculture. Where do we go practically and ecologically? Ecology of arable land (Eds M Clarholm & L Bergstöm), pp. 281-295. Kluwer Academic Publishers.

NRC (National Research Council) (1989) Problems in US. Agriculture. In Alternative Agriculture. Committee on the role of alternative farming methods in modern production agriculture. National Academy Press, Washington, DC 448 pp.

NRC (1991) Toward Sustainability. Soil and water research priorities for developing countries. National Research Council, National Academic Press, Washington DC, 65 pp.

Opschoor JB & DW Pearce (1991) Persistent pollutants: a challenge for the nineties" In: JB Opschoor & D Pearce (Eds.), Persistent Pollutants. Economics and Policy, Boston, MA, Kluwer Academic Publishers.

Pimentel D, W Dazhong & M Giampietro (1990) Technological changes in energy use in US Agricultural Production. In: SR Gliessman (Ed.) Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture. Springer Verlag: 305-322.

PNUMA (1990) Reseña del PNUMA. Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente. 48 pgs. Nairobi, Kenia. 1990.

Postel S (2000) Redesigning irrigated agriculture. In: State of the World 2000. Wordlwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. WW Norton & Company, New York-London . Cap 3:39-58.

Requena AM (1991) Contaminación. Impacto sobre el suelo y el agua. INTA, Seminario Juicio a nuestra agricultura. Hacia un desarrollo sostenible. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires.: 231-239.

Sarandón SJ & R Sarandón (1993) Un enfoque ecológico para una agricultura sustentable En: Goin F y C Goñi (Eds.) Bases para una política ambiental de la R. Argentina, Sección III, Cap. 19:279-286, HC Diputados de la Pcia de Buenos Aires.

Senigagliesi C (1991) Recursos Naturales. Pampa Húmeda Norte. INTA, Seminario Juicio a nuestra agricultura. Hacia un desarrollo sostenible. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires: 29-51.

Shiva V (1991) "Miracle seeds" and the destruction of genetic diversity. In: The violence of the green revolution. Third World Agriculture, Ecology and Politics. Third World Network, Pennang, Malaysia: 61-102.

Smith JSC (1988) Diversity of United States hybrid maize germplasm; Isozymic and chromatographic evidence. Crop Science 28:63-69.

Sweezy S & D Faber (1990) La acumulación desarticulada, las exportaciones agrarias y las crisis ecológica en Nicaragua: el ejemplo del algodón. Ecología Política 1:19-31.

UNEP (1997) The Biodiversity Agenda. Decisions from the third Meeting of the Conference of the Parties to the

Convention on Biological Diversity. Second Edition, Buenos Aires, Argentina, 4-15 Nov, 1996. 116 pp.

USDA (1987) Agricultural Resources-Cropland, water and conservation-Situation and outlook report. AR-8. Economic Research service. Washington D.C.

US Office of Technology Assessment (1987) Technologies to maintain biological diversity. Washington DC: US Government Printing Office.

WCED (1987) World Commission on Environment and Development: Our common future. Oxford University Press, London.

Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables

Miguel A. Altieri

El concepto de agricultura sustentable es una respuesta relativamente reciente a la declinación en la calidad de la base de los recursos naturales asociada con la agricultura moderna. En la actualidad, la cuestión de la producción agrícola ha evolucionado desde una forma puramente técnica hacia una más compleja, caracterizada por dimensiones sociales, culturales, políticas y económicas. El concepto de sustentabilidad, aunque controvertible y difuso debido a la existencia de definiciones e interpretaciones conflictivas de su significado, es útil debido a que captura un conjunto de preocupaciones acerca de la agricultura, la que es concebida como el resultado de la coevolución de los sistemas socioeconómicos y naturales (Reijntjes *et al.*, 1992). Un entendimiento más amplio del contexto agrícola requiere el estudio de la agricultura, el ambiente global y el sistema social, teniendo en cuenta que el desarrollo social resulta de una compleja interacción de una multitud de factores. Es a través de esta más profunda comprensión de la ecología de los sistemas agrícolas, que se abrirán las puertas a nuevas opciones de manejo que estén más en sintonía con los objetivos de una agricultura verdaderamente sustentable.

El concepto de sustentabilidad ha dado lugar a mucha discusión y ha promovido la necesidad de proponer ajustes mayores en la agricultura convencional para hacerla ambientalmente, socialmente y económicamente más viable y compatible. Se han propuesto algunas posibles soluciones a los problemas ambientales creados por los sistemas agrícolas intensivos en capital y tecnología basándose en investigaciones que tienen como fin evaluar sistemas alternativos (Gliessman, 1998). El principal foco está puesto en la reducción o eliminación de agroquímicos a través de cambios en el manejo, que aseguren la adecuada nutrición y protección de las plantas a través de fuentes de nutrientes orgánicos y un manejo integrado de plagas, respectivamente.

A pesar que han tenido lugar cientos de proyectos orientados a crear sistemas agrícolas y tecnologías ambientalmente más sanas, y muchas lecciones se han aprendido, la tendencia es aún altamente tecnológica, enfatizando la supresión de los factores limitantes o de los síntomas que enmascaran un sistema productivo enfermo. La filosofía prevaleciente es que las plagas, las deficiencias de nutrientes u otros factores son la causa de la baja productividad, en una visión opuesta a la que considera que las plagas o los

nutrientes sólo se transforman en una limitante, si el agroecosistema no está en equilibrio (Carrol *et al.*, 1990). Por esta razón, todavía persiste y prevalece la visión estrecha que la productividad es afectada por causas específicas y por lo tanto, que la solución de estos factores limitantes, mediante nuevas tecnologías, continúa siendo el principal objetivo. Esta visión ha impedido a los agrónomos darse cuenta que los factores limitantes sólo representan los síntomas de una enfermedad más sistémica inherente a desbalances dentro del agroecosistema y han provocado una apreciación del contexto y la complejidad del agroecosistema que subestima las principales causas de las limitaciones agrícolas

Por otro lado, la ciencia de la agroecología, que es definida como la aplicación de los conceptos y principios ecológicos para diseñar agroecosistemas sustentables, provee una base para evaluar la complejidad de los agroecosistemas. La idea de la agroecología es ir más allá del uso de prácticas alternativas y desarrollar agroecosistemas con una dependencia mínima de agroquímicos y subsidios de energía enfatizando sistemas agrícolas complejos en los cuales las interacciones ecológicas y los sinergismos entre sus componentes biológicos proveen los mecanismos para que los sistemas subsidien la fertilidad de su propio suelo, la productividad y la protección de los cultivos.

1. Principios de Agroecología

En la búsqueda por reinstalar una racionalidad más ecológica en la producción agrícola, los científicos y promotores han ignorado un aspecto esencial o central en el desarrollo de una agricultura más autosuficiente y sustentable: un entendimiento más profundo de la naturaleza de los agroecosistemas y de los principios por los cuales estos funcionan. Dada esta limitación, la agroecología emerge como una disciplina que provee los principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que son productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que además, son culturalmente sensibles y socialmente y económicamente viables.

La agroecología va más allá de un punto de vista unidimensional de los agroecosistemas (su genética, edafología y otros) para abrazar un entendimiento de los niveles ecológicos y sociales de coevolución, estructura y función. En lugar de centrar su atención en algún componente particular del agroecosistema, la agroecología enfatiza las interrelaciones entre sus componentes y la dinámica compleja de los procesos ecológicos (Vandermeer, 1995).

Los agroecosistemas son comunidades de plantas y animales interactuando con su ambiente físico y químico que ha sido modificado para producir alimentos, fibra, combustible y otros productos para el consumo y procesamiento humano. La agroecología es el estudio holístico de los agroecosistemas, incluidos todos los elementos ambientales y humanos. Centra su atención sobre la forma, la dinámica y función de sus interrelaciones y los procesos en el cual están envueltas. Un área usada para producción agrícola, por

ejemplo un campo, es visto como un sistema complejo en el cual los procesos ecológicos que se encuentran en forma natural pueden ocurrir, por ejemplo: ciclaje de nutrientes, interacciones predador-presa, competencia, simbiosis y cambios sucesionales. Una idea implícita en las investigaciones agroecológicas es que, entendiendo estas relaciones y procesos ecológicos, los agroecosistemas pueden ser manejados para mejorar la producción de forma más sustentable, con menores impactos negativos ambientales y sociales y un menor uso de insumos externos.

El diseño de tales sistemas está basado en la aplicación de los siguientes principios ecológicos (Reinjntjes *et al.*, 1992):

- Aumentar el reciclado de biomasa y optimizar la disponibilidad y el flujo balanceado de nutrientes.
- Asegurar condiciones del suelo favorables para el crecimiento de las plantas, particularmente a través del manejo de la materia orgánica y aumentando la actividad biótica del suelo.
- Minimizar las pérdidas debidas a flujos de radiación solar, aire y agua mediante el manejo del microclima, cosecha de agua y el manejo de suelo a través del aumento en la cobertura.
- Diversificar específica y genéticamente el agroecosistema en el tiempo y el espacio.
- Aumentar las interacciones biológicas y los sinergismos entre los componentes de la biodiversidad promoviendo procesos y servicios ecológicos claves.

Estos principios pueden ser aplicados a través de varias técnicas y estrategias. Cada una de ellas tiene diferente efecto sobre la productividad, estabilidad y resiliencia dentro del sistema de finca, dependiendo de las oportunidades locales, la disponibilidad de recursos y, en muchos casos, del mercado. El objetivo último del diseño agroecológico es integrar los componentes de manera tal de aumentar la eficiencia biológica general, y mantener la capacidad productiva y autosuficiente del agroecosistema (Tabla 1). El objetivo es diseñar una trama de agroecosistemas dentro de una unidad de paisaje, miméticos con la estructura y función de los ecosistemas naturales.

Tabla 1

Procesos ecológicos que deben optimizarse en agroecosistemas

- Fortalecer la inmunidad del sistema (funcionamiento apropiado del sistema natural de control de plagas)
- Disminuir la toxicidad a través de la eliminación de agroquímicos
- Optimizar la función metabólica (descomposición de la materia orgánica y ciclaje de nutrientes)
- Balance de los sistemas regulatorios (ciclos de nutrientes, balance de agua, flujo y energía, regulación de poblaciones, etc...)
- Aumentar la conservación y regeneración de los recursos de suelo y agua y la biodiversidad
- Aumentar y sostener la productividad en el largo plazo

2. Biodiversificación de agroecosistemas

Desde una perspectiva de manejo, el objetivo de la agroecología es proveer ambientes balanceados, rendimientos sustentables, una fertilidad del suelo biológicamente obtenida y una regulación natural de las plagas a través del diseño de agroecosistemas diversificados y el uso de tecnologías de bajos insumos (Gliessman, 1998). Los agroecólogos están ahora reconociendo que los policultivos, la agroforestería y otros métodos de diversificación imitan los procesos ecológicos naturales y que la sustentabilidad de los agroecosistemas complejos se basa en los modelos ecológicos que ellos siguen. Mediante el diseño de sistemas de cultivo que imiten la naturaleza puede hacerse un uso óptimo de la luz solar, de los nutrientes del suelo y de la lluvia (Pret, 1994).

El manejo agroecológico debe tratar de optimizar el reciclado de nutrientes y de materia orgánica, cerrar los flujos de energía, conservar el agua y el suelo y balancear las poblaciones de plagas y enemigos naturales. La estrategia explota las complementariedades y sinergismos que resultan de varias combinaciones de cultivos, árboles y animales, en arreglos espaciales y temporales diversos (Altieri, 1994).

En esencia, el manejo óptimo de los agroecosistemas depende del nivel de interacciones entre los varios componentes bióticos y abióticos. A través del ensamble de una biodiversidad funcional es posible iniciar sinergismos que subsidien los procesos del agroecosistema a través de proveer servicios ecológicos tales como la activación de la biología del suelo, el reciclado de nutrientes, el aumento de los artrópodos benéficos y los antagonistas y otros más (Altieri & Nicholls, 1999). Actualmente, hay una gama diversa de prácticas y tecnologías disponibles las cuales varían, tanto en efectividad, como en valor estratégico. Las prácticas clave son aquellas de naturaleza preventiva, de multipropósito y que actúan reforzando la inmunidad del agroecosistema a través de una serie de mecanismos (Tabla 2)

Tabla 2

Mecanismos para mejorar la inmunidad del agroecosistema

- Aumentar las especies de plantas y la diversidad genética en el tiempo y el espacio
- Mejorar la biodiversidad funcional (enemigos naturales, antagonistas, etc.)
- Mejoramiento de la materia orgánica del suelo y la actividad biológica
- Aumento de la cobertura del suelo y la habilidad competitiva.
- Eliminación de insumos tóxicos y residuos

Existen varias estrategias para restaurar la diversidad agrícola en el tiempo y el espacio incluyendo rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura, policultivos, mezclas de cultivo y ganadería y otras estrategias similares, las que exhiben las siguientes características ecológicas:

Rotaciones de cultivo. Diversidad temporal incorporada en los sistemas de cultivo proveyendo nutrientes para el cultivo e interrumpiendo el ciclo de vida de varios insectos plaga, de enfermedades y el ciclo de vida de las malezas (Sumner, 1982).
Policultivos. Sistemas de cultivo complejos en los cuales 2 o más especies son plantadas con una suficiente proximidad espacial que resulta en una competencia o complementación, aumentando, por lo tanto, los rendimientos (Vandermeer, 1989).
Sistemas agroforestales. Un sistema agrícola donde los árboles proveen funciones protectivas y productivas cuando crecen junto con cultivos anuales y/o animales lo que resulta en un aumento de las relaciones complementarias entre los componentes incrementando el uso múltiple del agroecosistema (Nair, 1982).
Cultivos de cobertura. El uso, en forma pura o en mezcla, de plantas leguminosas u otras especies anuales, generalmente debajo de especies frutales perennes, con el fin de mejorar la fertilidad del suelo, aumentar el control biológico de plagas y modificar el microclima del huerto (Finch & Sharp, 1976).
Integración animal en el agroecosistema ayudando en alcanzar una alta producción de biomasa y un reciclaje óptimo (Pearson & Ison, 1987).

Todas las formas diversificadas de agroecosistemas detalladas más arriba comparten las siguientes características

a. Mantienen la cubierta vegetativa como una medida efectiva de conservar al agua y el suelo, a través del uso de prácticas como labranza cero, cultivos con uso de "mulch" y el uso de cultivos de cobertura y otros métodos apropiados.
b. Proveen un suministro regular de materia orgánica a través de la adición de materia orgánica (estiércol, "compost" y promoción de la actividad y biología del suelo).
c. Aumentan los mecanismos de reciclaje de nutrientes a través del uso de sistemas de rotaciones basados en leguminosas, integración de ganado, etc.
d. Promueven la regulación de las plagas a través de un aumento de la actividad biológica de los agentes de control logrado por la introducción y/o la conservación de los enemigos naturales y antagonistas.

La investigación sobre la diversificación de sistemas de cultivos pone de relieve la gran importancia de la diversidad en un entorno agrícola (Vandermeer, 1989). La diversidad es de valor en los agroecosistemas por varias razones (Altieri, 1994; Gliessman, 1998):

- A medida que aumenta la diversidad, también lo hacen las oportunidades para la coexistencia e interacción benéfica entre las especies, que pueden mejorar la sustentabilidad del agroecosistema.
- Una mayor diversidad siempre permite un mejor uso de los recursos en el agroecosistema. Existe una mejor adaptación a la heterogeneidad del hábitat, llevando a una complementariedad en las necesidades de las especies de cultivo, la diversificación de

nichos, el solapamiento de los nichos de las especies y la partición de los recursos.
- Los ecosistemas en los cuales las especies de plantas están entremezcladas, poseen una resistencia asociada a herbívoros, ya que en los sistemas diversos existe una mayor abundancia y diversidad de enemigos naturales de las plagas, manteniendo bajo control las poblaciones de especies individuales de herbívoros.
- Un ensamblaje de cultivos diversos puede crear una diversidad de microclimas dentro de los sistemas de cultivo que pueden ser ocupados por un rango de organismos silvestres -incluyendo predatores benéficos, parasitoides, polinizadores, fauna del suelo y antagonistas- que resultan importantes para la totalidad del sistema.
- La diversidad en el paisaje agrícola puede contribuir a la conservación de la biodiversidad en los ecosistemas naturales circundantes.
- La diversidad en el suelo determina una variedad de servicios ecológicos tales como el reciclado de nutrientes y la detoxificación de sustancias químicas perjudiciales y la regulación del crecimiento de las plantas.
- La diversidad reduce el riesgo para los productores o agricultores, especialmente en áreas marginales con condiciones ambientales poco predecibles. Si un cultivo no anda bien, el ingreso derivado de otros puede compensarlo.

3. Agroecología y el diseño de Agroecosistemas sustentables

Mucha gente involucrada en la promoción de la agricultura sustentable busca crear una forma de agricultura que mantenga la productividad en el largo plazo a través de (Pret, 1994; Vandermeer, 1995):

- Optimizar el uso de insumos localmente disponibles combinando los diferentes componentes del sistema de finca, por ejemplo, plantas, animales, suelo, agua, clima y gente de manera tal que se complementen los unos a los otros y tengan los mayores efectos sinergéticos posibles.
- Reducir el uso de insumos externos a la finca y los no renovables con gran potencial de daño al ambiente y a la salud de productores y consumidores, y un uso más restringido y localizado de los insumos remanentes, con la visión de minimizar los costos variables;
- Basarse principalmente en los recursos del agroecosistema reemplazando los insumos externos por reciclaje de nutrientes, una mejor conservación y un uso eficiente de insumos locales.
- Mejorar la relación entre los diseños de cultivo, el potencial productivo y las limitantes ambientales de clima y el paisaje, para asegurar la sustentabilidad en el largo plazo de los niveles actuales de producción.
- Trabajar para valorar y conservar la biodiversidad, tanto en regiones silvestres como domesticadas, haciendo un uso óptimo del potencial biológico y genético de las espe-

cies de plantas y animales presentes dentro y alrededor del agroecosistema.
- Aprovechar el conocimiento y las prácticas locales, incluidas las aproximaciones innovativas no siempre plenamente comprendidas todavía por los científicos, aunque ampliamente adoptadas por los agricultores

La agroecología provee el conocimiento y la metodología necesaria para desarrollar una agricultura que sea, por un lado, ambientalmente adecuada y, por el otro lado, altamente productiva, socialmente equitativa y económicamente viable. A través de la aplicación de los principios agroecológicos, el desafío básico de la agricultura sustentable de hacer un mejor uso de los recursos internos puede ser fácilmente alcanzado, minimizando el uso de insumos externos y preferentemente generando los recursos internos más eficientemente, a través de las estrategias de diversificación que aumenten los sinergismos entre los componentes clave del agroecosistema.

El objetivo último del diseño agroecológico es integrar los componentes de manera tal de aumentar la eficiencia biológica general, preservar la biodiversidad y mantener la capacidad productiva y autorregulatoria del agroecosistema. El objetivo es diseñar un agroecosistema que imite la estructura y función de los ecosistemas naturales locales; esto es, un sistema con una alta diversidad de especies y un suelo biológicamente activo; un sistema que promueva el control natural de plagas, el reciclaje de nutrientes y una alta cobertura del suelo que prevenga las pérdidas de recursos edáficos.

4. Conclusiones

La Agroecología provee una guía para desarrollar agroecosistemas que tomen ventaja de los efectos de la integración de la biodiversidad de plantas y animales. Tal integración aumenta las complejas interacciones y sinergismos y optimiza las funciones y procesos del agroecosistema tales como la regulación biótica de organismos perjudiciales, reciclado de nutrientes y la producción y acumulación de biomasa, permitiendo así al agroecosistema solventar su propio funcionamiento. El resultado final del diseño agroecológico es mejorar la sustentabilidad económica y ecológica del agroecosistema, con un sistema de manejo propuesto a tono con la base local de recursos y con una estructura operacional acorde con las condiciones ambientales y socioeconómicas existentes. En una estrategia agroecológica los componentes de manejo son dirigidos con el objetivo de resaltar la conservación y mejoramiento de los recursos locales (germoplasma, suelo, fauna benéfica, diversidad vegetal, etc.) enfatizando el desarrollo de una metodología que valore la participación de los agricultores, el uso del conocimiento tradicional y la adaptación de las explotaciones agrícolas a las necesidades locales y las condiciones socioeconómicas y biofísicas.

Altieri MA & CI Nicholls (1999) Biodiversity, ecosystem function and insect pest management in agricultural systems. In: Biodiversity in Agroecosystems. Collins WW & CO Qualset (Eds.) CRC Press, Boca Raton.

Altieri MA (1994) Biodiversity and pest management in agroecosystems. Hayworth Press, New York. 185 pp.

Carrol CR, JH Vandermeer & PM Rosset (1990) Agroecology. McGraw Hill Publishing Company, New York.

Finch CV & CW Sharp (1976) Cover crops in California orchards and vineyards. USDA Soil Conservation Service, Washington, D.C.

Gliessman SR (1998) Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture. Ann Arbor Press, Michigan.

Nair PKR (1982) Soil productivity aspects of agroforestry. ICRAF, Nairobi.

Pearson CJ & RL Ison (1987) Agronomy of grassland systems. Cambridge University Press, Cambridge.

Pret JN (1994) Regenerating agriculture. Earthscan Publications Ltd., London. 320 pp.

Reijntjes CB, Haverkort & A Waters-Bayer (1992) Farming for the future. MacMillan Press Ltd., London.

Sumner DR (1982) Crop rotation and plant productivity. In: Handbook of Agricultural Productivity. M. Recheigl, (Ed) CRC, Vol I, CRC Press, Florida.

Vandermeer J (1989) The ecology of intercropping. Cambridge University Press, Cambridge.

Vandermeer J (1995) The ecological basis of alternative agriculture. Annual Review of Ecological Systems, 26: 201-224.

Agroecología y desarrollo rural sustentable: una propuesta desde Latinamérica

Eduardo Sevilla Guzmán

1. Nota introductoria: sobre la naturaleza de la agroecología

La agroecología, en su primer manual sistemático (Altieri, 1987), fue definida como "las bases científicas para una agricultura ecológica". Su conocimiento habría de ser generado mediante la orquestación de las aportaciones de diferentes disciplinas para, mediante el análisis de todo tipo de procesos de la actividad agraria, en su sentido más amplio, comprender el funcionamiento de los ciclos minerales, las transformaciones de energía, los procesos biológicos y las relaciones socioeconómicas como un todo. En la probablemente más acabada caracterización de la agroecología hasta ahora realizada se desvela, en gran medida, el funcionamiento ecológico necesario para conseguir hacer una agricultura sustentable (Gliessman, 1989). Y, ello sin olvidar la equidad; es decir, la búsqueda de la agroecología de un acceso igualitario a los medios de vida. La integralidad del enfoque de la agroecología requiere, pues, la articulación de sus dimensiones técnica y social (Sevilla Guzmán & González de Molina, 1993).

En los últimos años la agroecología se está poniendo de moda al estar pretendiendo ser utilizada como una mera técnica o instrumento metodológico para comprender mejor el funcionamiento y la dinámica de los sistemas agrarios y resolver la gran cantidad de problemas técnico-agronómicos que las ciencias agrarias convencionales no han logrado solventar. Sin embargo, esta dimensión restringida que está consiguiendo bastante predicamento en el mundo de la investigación y la docencia como un saber esencialmente académico, carece en absoluto de compromisos socioambientales. En esta manera de entender la agroecología, las variables sociales funcionan para comprender la dimensión entrópica del deterioro de los recursos naturales en los sistemas agrarios; se asume su importancia pero no se entra en la búsqueda de soluciones globales que excedan el ámbito de la finca o de la técnica concreta que se pone a punto. En realidad esta adulteración de la agroecología o *agroecología débil* no se diferencia en mucho de la agronomía convencional y no supone más que una ruptura parcial de las visiones tradicionales.

En un sentido amplio, la agroecología tiene una dimensión integral en la que las variables sociales ocupan un papel muy relevante ya que aunque parta de la dimensión

técnica antes apuntada, y su primer nivel de análisis sea la finca; desde ella, se pretende entender las múltiples formas de dependencia que el funcionamiento actual de la política y de la economía genera sobre los agricultores. El resto de los niveles de análisis de la agroecología consideran como central la matriz comunitaria en que se inserta el agricultor; es decir la matriz sociocultural que dota de una praxis intelectual y política a su identidad local y a su red de relaciones sociales. La agroecología pretende pues, que los procesos de transición, en finca; de agricultura convencional a agricultura ecológica se desarrollen en este contexto sociocultural y político y supongan propuestas colectivas que transformen las formas de dependencia anteriormente señaladas. Para ello, la agroecología (que por su naturaleza ecológica pretende evitar el deterioro de los recursos naturales), ha de rebasar el nivel de la producción para introducirse en los procesos de circulación, transformando sus mecanismos de explotación social (evitando, así, el deterioro que, la veleidad del "valor de cambio", genera en la sociedad). Aparece así la agroecología como desarrollo sustentable; es decir, la utilización de experiencias productivas de agricultura ecológica, para elaborar propuestas de *acción social colectivas* que desvelen la lógica depredadora del modelo productivo agroindustrial hegemónico, para sustituirlo por otro que apunte hacia una agricultura socialmente más justa, económicamente viable y, ecológicamente apropiada (Guzmán Casado *et al*., 2000).

Ello tiene implicaciones importantes: el lugar destacado que el análisis de los agroecosistemas otorga a las variables sociales acaba por implicar al investigador en la realidad que estudia, al aceptar, en pie de igualdad con su conocimiento, el conocimiento local generado por los productores. Más aún, las nuevas propuestas productivas, en su dimensión de desarrollo social, requieren una *investigación acción participativa* que destruya la naturaleza de "objeto estudiado" de los productores al ser éstos el núcleo central en el diseño y toma de decisiones de dichas propuestas. Ello desemboca normalmente en un fuerte compromiso ético con la solución de los problemas ambientales, pero también de los sociales, como forma perdurable de solventarlos. No es de extrañar, pues, que la agroecología haya surgido precisamente a través de una interacción entre los productores (que se revelan ante el deterioro de la naturaleza y la sociedad que provoca el modelo productivo hegemónico) y los investigadores y docentes más comprometidos en la búsqueda de alternativas.

Con el presente trabajo queremos mostrar la naturaleza pluriepistemológica de la agroecología en su dimensión social, ya que, en su dimensión técnica (articulación del conocimiento local, campesino o indígena, para el desarrollo de tecnologías agroecológicas en finca) existe una vasta bibliografía (Gliessman, 1978; Altieri, 1991; Iturra, 1993; Cornwall *et al,* 1994; y Toledo, 1986; 1993; 1995). Para ello vamos a dar continuidad al análisis sociológico que elaboramos para mostrar a los especialistas en *Sociología Medioambiental* el "estado de la cuestión" de la agroecología en su proceso de acumulación desde las Ciencias Sociales (Sevilla Guzmán & Woodgate, 1997a), mostrando su coincidencia básica con las aportaciones, que desde la práctica, desarrollan los propios agricultores.

En las páginas que siguen pretendemos mostrar la "teoría" que el pensamiento científico convencional ha elaborado sobre los conceptos de "desarrollo" y "desarrollo rural" y, al hacerlo plantear la crítica que la agroecología establece sobre dichas conceptualizaciones de las Ciencias Sociales. Más tarde, expondremos la "empiria"; es decir, la implementación histórica de dicha construcción teórica; desvelando al mismo tiempo la naturaleza ideológica de la misma. Finalmente, pretendemos mostrar desde la "Empiria Campesina" y la "Teoría Agroecológica": por un lado, la emergencia desde múltiples lugares de Latinoamérica, de una propuesta productiva, de naturaleza alternativa que pretende sustituir el deterioro de la naturaleza y la sociedad generado por modelo productivo agroindustrial, hoy vigente. Y, por otro lado, nos proponemos desarrollar el proceso de acumulación teórica que el "pensamiento alternativo" (Sevilla Guzmán, 1997 y Sevilla y Woodyate 1997a) ha generado hasta llegar a la agroecología como Desarrollo Rural Sustentable.

2. Teoría: sobre los conceptos de desarrollo y desarrollo rural en el pensamiento científico convencional

En su acepción más amplia el concepto de desarrollo significa el despliegue de las potencialidades de una identidad, sea está biológica o sociocultural. Se trata de alcanzar un estado superior, o más pleno que el preexistente, tanto cuantitativa como cualitativamente. El aspecto cuantitativo del desarrollo se llama crecimiento; es decir, el aumento natural de tamaño por adicción de material a través de la asimilación o el acrecentamiento. La dimensión cualitativa del desarrollo hace referencia a los aspectos relacionales y energéticos que permiten el despliegue o consecución de la mayor plenitud, la cual puede, aunque no suela ser así, realizarse sin crecimiento.

La conceptualización pionera, con suficiente rigor, del desarrollo surge a mediados del siglo XVIII en las Ciencias Naturales, cuando Caspar Friedrich Wolff define el desarrollo embrionario como el crecimiento alométrico (variación de las relaciones entre las partes) hacia la forma apropiada del ser. Sin utilizar la palabra desarrollo, pero profundizando el concepto e introduciendo en él la noción de avance hacia formas más perfectas, Darwin un siglo más tarde, acuño el vocablo de evolución como sinónimo de desarrollo al elaborar su Teoría de la Evolución de las Especies. Aunque su probable primera utilización en las Ciencias Sociales tuvo lugar en el siglo XIV por Ibn Jadun, al iniciar la teoría sociológica de la evolución, y su conceptualización guarde el legado de las teorías evolucionistas de la Filosofía de la Historia (desde Giambattista Vico hasta Herder y Hegel), se debe, sin embargo, a Karl Marx la más completa conceptualización del concepto de desarrollo al introducir este en el proceso histórico.

No obstante, dentro del pensamiento científico liberal, al ser aplicado a la economía el concepto de desarrollo adquiere una fuerte dimensión etnocentrista al identificarse la mayor plenitud o superioridad con la trayectoria histórica desplegada por la identidad

sociocultural occidental y las formas de producción y consumo por ella elaboradas. El desarrollo puede así ser definido como el crecimiento económico (incremento del Producto Nacional Bruto) acompañado de un cambio social y cultural (modernización) que tiene lugar en una determinada sociedad, generalmente un estado-nación, como consecuencia de las acciones realizadas; lo que significa la elaboración de una estrategia de planificación del cambio para mejorar la calidad de vida de su población. Y, entendiendo por modernización, un nombre nuevo para un viejo proceso, el cambio sociocultural y político que las potencias coloniales imponían a sus colonias: su occidentalización. Es en este contexto como adquiere sentido el, en nuestra opinión, mejor análisis hasta ahora realizado del concepto de desarrollo. Se debe este a Gustavo Esteva, cuando señala que "el desarrollo no puede desligarse de las palabras con las cuales se le formó: evolución, crecimiento, maduración. Del mismo modo, que quienes la emplean actualmente no pueden liberarse de la red de sentidos que da una ceguera específica a su lenguaje, su pensamiento y su acción. No importa el concepto que se emplee o la connotación precisa que la persona que lo usa quiera darle, la expresión se encuentra calificada y coloreada por significados acaso indeseables. La palabra implica siempre un cambio favorable, un paso de lo simple a lo complejo, de lo inferior a lo superior, de lo peor a lo mejor. La palabra indica que uno lo está haciendo bien por que avanza en el sentido de una ley necesaria, ineluctable y universal y hacia una meta deseable. La palabra tiene hasta ahora el significado que le dio hace un siglo el creador de la ecología, Haeckel: Desarrollo es a partir, de ahora, la palabra mágica con la que podemos resolver todos los misterios que nos rodean o que, por lo menos nos pueden guiar a su solución. Empero, para dos terceras partes de la gente en el mundo este significado positivo de la palabra desarrollo -profundamente enraizado tras dos siglos de construcción social- es un recordatorio de lo que no son. Les recuerda una condición indeseable e indigna. Para escapar de ella necesitaban hacerse esclavos de las experiencias y los sueños de otros" (Gustavo Esteva en W. Sachs, 1992: 10).

Cuando el desarrollo no se refiere al conjunto de una sociedad, sino que se centra en las áreas, sean rurales o urbanas, a las que se pretende mejorar el nivel de vida de su población a través de procesos de participación local mediante la potenciación de sus recursos propios, este se define como Desarrollo Rural o Urbano. El primer paso para analizar el desarrollo rural-urbano consiste en detectar el trasfondo teórico de los esquemas de desarrollo que se desea potenciar. Aún cuando siempre se señale como objetivo la mejora del nivel de vida de la población del área implicada, a través de procesos de descentralización, participación local y potenciación de la utilización de recursos propios; el marco teórico del que surja tal desarrollo es el determinante último de la naturaleza de tales acciones. Lamentablemente la mayor parte de las acciones hasta ahora realizadas han sido implementadas desde la perspectiva del liberalismo económico histórico o desde el neoliberalismo, es por esa razón por lo que, en líneas generales, los resultados obtenidos no fueron todo lo satisfactorios que se hubiese deseado. Además, es necesario matizar que probable-

mente el fin último tampoco fuera en todos los casos el arriba señalado: mejorar el nivel de vida de la población, ya que desde sus orígenes, el concepto de desarrollo para la "periferia" ha estado vinculado a la idea de ayuda o cooperación para el desarrollo, desplegando por tanto una dimensión de imposición paternalista, " de arriba abajo" que anulaba las posibilidades de participación real de la población, por lo que, en muchos casos tales acciones no han sido sino un intento para sentar las bases de una nueva forma de colonialismo sutil, que terminaba satisfaciendo únicamente las demandas de expansión de los intereses económicos de los "países centrales" (Villasante, 1995 y 1998).

Durante una buena parte del siglo XIX y hasta entrado el XX se fue configurando como hegemónico el modelo productivo urbano-industrial cuya lógica, de mover personas allá donde se concentraba el capital, fue consolidando una estructura de poder que situaba al campo y las comunidades rurales en una posición cada vez más marginada y dependiente frente a las ciudades que vieron incrementado su poder con la hegemonía industrial. No obstante, las ciudades, lejos de ser espacios socioeconómicos homogéneos, se configuran, nuevamente como un centro donde se acumulan la renta y los servicios, y una periferia constituida por grandes bolsas de pobreza provenientes de la migración rural. Los desequilibrios así generados trataron de mitigarse con políticas encaminadas a elevar el nivel de vida de la gente del campo definiéndose éstas como de desarrollo rural o, en su caso, urbano (Long, 1977; Castells, 1972).

En otro lugar hemos interpretado la trayectoria histórica del desarrollo rural como el paso de la "cuestión agraria" a la "cuestión medioambiental" (Sevilla Guzmán & Woodgate, 1997). Igualmente Castells (1972; 1978) interpreta el desarrollo urbano como el paso de la "cuestión urbana" a la "cuestión informacional". La naturaleza de estos papeles (la agroecología como desarrollo rural y las limitaciones de espacio) nos obliga a centrarnos en el desarrollo rural aunque igualmente podríamos adentrarnos en una Agroecología como desarrollo urbano, a través del diseño de estrategias participativas de agricultura ecológica-urbana.

El debate sobre la "cuestión agraria" planteaba cual debería ser la naturaleza del manejo de los recursos naturales y, por tanto, el papel del campesinado en el proceso histórico. Dicho debate quedó cerrado a finales del siglo XIX ante el consenso tanto del pensamiento liberal como del marxismo al redefinir a la agricultura como una rama de la industria y relegar al campesinado a la posición de residuo anacrónico que, ineluctablemente, habría de ser sacrificado en los altares de la modernidad de naturaleza urbana (Castells, 1972; Giner & Sevilla Guzmán, 1980). Si embargo de tal debate surgió una praxis intelectual y política "procampesina" que puede interpretarse como un precedente del desarrollo rural y que consideraremos en el siguiente apartado.

En la tabla 1, (cuyo apoyo bibliográfico se encuentra en Sevilla Guzmán & Woodgate, 1997a) hemos seleccionado las teorías (o marcos teóricos) que, en nuestra opinión, han jugado un papel más importante en la implementación del desarrollo rural que, como veremos detalladamente en el siguiente apartado, hemos agrupado en tres categorías o "formas

históricas de desarrollo rural": el Desarrollo Comunitario; el Desarrollo Rural Integrado y el Desarrollo Rural Sostenible". Todas ellas se inscriben en el desarrollo del "pensamiento científico convencional" que, aunque como epistemología constituya "el manejo del riesgo a no equivocarnos"; como estructura social se ve sometida a las presiones de la estructura de poder generada por los intereses económicos y políticos de las instituciones con ella interactuantes. Ello determina que, en muchos casos el funcionamiento de la ciencia se vea mediatizado por fuerzas ajenas a la naturaleza última de su pesquisa: la caracterización, explicación y predicción de la realidad, tanto natural como social, para preservarla de cualquier forma de deterioro.

Tabla 1

Perspectivas y marcos teóricos del Desarrollo Rural en el pensamiento científico convencional

Marcos Teóricos	Autores clave
Perspectiva teórica de la Sociología de la Vida Rural: Desarrollo Comunitario	
La comunidad "rururbana"	C Galpin
El continuum rural-urbano	P Sorokin & C Zimmerman
Las bases de poder de la comunidad rural	W Llyod Warner et al.
Perspectiva teórica de la modernización agraria: Desarrollo Rural Integrado	
Familismo amoral	E C Banfield
La imagen del bien limitado	G Foster
La modernización de los campesinos	E Rogers
Las etapas del crecimiento económico	WW Rostow / C Clark
El dualismo económico	WA Lewis
La agricultura de altos imputs externos	T Shultz / R Weitz
El cambio tecnológico inducido	V Ruttan & A de Janvry
Perspectiva de la sustentabilidad institucional: Desarrollo Rural Sostenible	
Ecodesarrollo	I. Sachs
Farming Systems Research	Enfoque francófilo (e.g. M Servillote, 1996)
	Enfoque anglófilo (e.g. D Gibbon, 1991)
Farmer and People First	R Chambers / M Cernea

Las teorías o marcos teóricos que subyacen a cada forma histórica de desarrollo rural, han sido agrupadas en "perspectivas teóricas", que preceden en la tabla a la denominación que hemos atribuido a cada uno de los tres tipos de desarrollo rural. La perspectiva teórica de la "sociología de la vida rural" (Newby & Sevilla Guzmán, 1983) esta integrada por el conjunto de teorías que pretenden mostrar la necesidad de introducir en el manejo de los recursos naturales las tecnologías derivadas de las ciencias agropecuarias y forestales. Se trataba pues, de generar los mecanismos que introdujeran en las comu-

nidades rurales aquellos cambios socioculturales que permitieran, por parte de los campesinos, el paso de una "agricultura como forma de vida" a otra, vinculada al mercado en el que "el manejo de los recursos naturales pasa a ser un negocio". Así, los marcos teóricos que hemos seleccionado constituyen herramientas analíticas para el análisis del funcionamiento de las comunidades rurales, señalando las pautas de cambio que permitirían transformarlas hasta conseguir el nuevo objetivo: introducir "una civilización científica en el campo para hacerlo salir de su atraso".

La infraestructura organizativa a través de la cual se llevaría a cabo tal transformación, lo constituye el Desarrollo Comunitario a través de la transferencia tecnológica de los servicios de extensión agraria y su difusión planetaria a través de la Revolución Verde.

La perspectiva teórica de la "modernización agraria" es presentada en la tabla mediante la agrupación de los "marcos teóricos" o teorías que, en nuestra opinión, son más relevantes respecto a señalar la necesidad de industrializar la agricultura con "inputs" externos. Tales teorías, provenientes de diferentes disciplinas de las Ciencias Sociales, analizan en general el concepto de campesinado para adaptarlo al nuevo contexto de la referida industrialización. Los marcos teóricos de naturaleza antropológica ("Familismo amoral" y "Teoría del bien limitado") tratan de explicar el comportamiento de los campesinos, al resistirse a la forma de desarrollo propuesta, mediante comportamientos calificados por la identidad sociocultural europea, como insolidarios o sin pautas éticas fuera de su unidad doméstica. La teoría de la modernización de los campesinos, de naturaleza sociológica, pretende diseñar los mecanismos para romper dicha resistencia a aceptar la imprescindible competitividad del mercado así como la secularidad, empatía y la propensión del logro vinculada a la lógica del lucro. El resto de las teorías modernizadoras, señaladas en el cuadro, poseen una naturaleza económica, mostrando el camino para el desarrollo ("las etapas del crecimiento económico"), cómo transformar la agricultura tradicional en otra de "altos inputs externos" rompiendo, así, el "dualismo económico" de los países subdesarrollados al transformar las formas campesinas *atrasadas* de producir y consumir, en estilos de vida modernos; ello se obtendría mediante un "cambio tecnológico inducido", a través de la investigación en tecnologías apropiadas. La implementación de estas propuestas constituye la "forma histórica de Desarrollo Rural Integrado, que consideraremos en el apartado siguiente.

Mostraremos el impacto social y ecológico de estas propuestas teóricas del desarrollo rural, mediante su forma histórica primera, el desarrollo comunitario. Surgió ésta, en EEUU entrado el siglo XX, y se cumplieron sus objetivos de "crear una civilización científica en el campo" (Gillette). Igualmente tuvieron éxito los esquemas del DRI (Desarrollo Rural Integrado), respecto a modernizar a los campesinos (Rogers) transformándolos en empresarios agricultores (Weitz), proporcionándoles tecnologías de altos insumos propiamente adecuadas (Shutlz) y generando cambios tecnológicos inducidos (Ruttan). Empero, no sucedió lo mismo con las propuestas teóricas agrupadas en la que hemos definido como perspectiva de la Sostenibilidad Institucional que da lugar al

Desarrollo Sostenible. En otro lugar hemos definido esta perspectiva como el "discurso ecotecnocrático de la sostenibilidad" (Alonso Mielgo & Sevilla Guzmán, 1995 y 1998) ya que pretendió encarar la crisis medioambiental y social actual, sin modificar la naturaleza industrial que posee el manejo de los recursos naturales de su modelo productivo. Los marcos teóricos que la integran definen un tipo de Desarrollo Rural Sostenible con esquemas de Ecodesarrollo (Sachs) donde se pretendía articular el conocimiento local, campesino o indígena con tecnologías de naturaleza industrial lo que fue instrumentalizado por los organismos internacionales mediante polémicas implementaciones en numerosos países latinoamericanos (Leff, 1994; 1998).

La, probablemente más relevante, propuesta teórica de las hasta aquí consideradas es la que aparece en el enfoque interdisciplinario del Farming Systems Research y que, por sus múltiples aportaciones susceptibles de utilizar dentro de la agroecología como desarrollo, vamos a considerar con un mayor detenimiento. Es posible diferenciar claramente dos enfoques dentro del Farming System Research: por un lado, el enfoque tradicional, de naturaleza anglosajona y, por otro, el posterior enfoque del INRA-SAT (Institute Nationale de la Recherche Agronomique-Systèmes Agraries et le Dèveloppement); que surge en 1979 en Francia como consecuencia de la crítica de R. Dumont a la enseñanza agrícola que no considera la diversidad de las estructuras agrarias y la rigidez de las recomendaciones técnicas; poniendo en riesgo los recursos naturales y el legado cultural agrario. Hènin y Sebillote inician la "investigación en finca" en Francia, con una nueva concepción agronómica, introduciendo el concepto de itinerarios técnicos y redefiniendo el concepto de "sistema de cultivos". Los análisis sistémicos del SAT se refieren a: 1) el funcionamiento y evolución de las fincas en sus contextos técnico, económico y social; 2) el estudio de las herramientas para la toma de decisiones; 3) la generación de tecnologías de manejo conjunto de cultivos y ganado; 4) los sistemas agrarios y el uso del suelo y 5) los sistemas agrarios, de producción y procesado de productos alimentarios (Bonnemaire, 1994). La figura que adquiere un protagonismo desde una perspectiva, tanto teórica como institucional, en la orientación anglófila del Farming Systems Research es, sin duda, David Gibbon, quién diferencia los siguientes rasgos como característicos de este enfoque: a) investigación orientada hacia el agricultor; b) enfoque sitémico; c) búsqueda rápida para resolver problemas; d) enfoque interdisciplinario (incluyendo a sociólogos y antropólogos, los cuales habían sido marginados del trabajo en equipo realizado por los organismos internacionales); e) experimentación en finca; f) participación de agricultores en el desarrollo de tecnologías; g) enfoque holístico y, h) desarrollo dinámico e interactivo de los proyectos implementados . Aunque dentro del amplio abanico de enfoques del Farming Systems Research hay, como hemos señalado anteriormente, aportaciones próximas a la Agroecología como desarrollo rural sustentable, la mayor parte de dichos enfoques, no cumplen muchos de los rasgos señalados por Gibbon en su intento de definición (Sevilla Guzmán & Woodgate, 1997b; Sevilla Guzmán *et al.*, 1995).

El marco teórico de "Los agricultores primero" (Farmer First) fue generado por la persona que organiza la transformación del Farming Systems Research, claramente vinculado al ecologismo de los organismos internacionales y de los Bancos multilaterales (Alonso & Sevilla Guzmán, 1995), en una posibilidad de elección "contingente" entre el desarrollo rural como "turismo" y el desarrollo rural como "ecología de los pobres" (Martínez Alier, 1998). Robert Chambers, criticando el desarrollo rural convencional analiza los seis sesgos del sistema internacional de conocimiento y prestigio, con las subsiguientes prebendas: a) el sesgo del asfalto, que hace referencia a que los funcionarios coloniales y los "académicos-cientifistas" sólo trabajan en los bordes de lo urbano, ya que la distribución internacional (centro-periferia) del conocimiento posee un prejuicio espacial que determina la imperceptibilidad de la pobreza más allá de donde llega el asfalto o de las proximidades de los caminos rurales; b) el sesgo de los contactos, según el cual los citados "outsides" sólo trabajan donde ya se han realizado anteriores proyectos de desarrollo y, por lo tanto, se tienen "contactos" y existen "datos sobre la zona"; c) el sesgo del potencial humano, según el cual hay que trabajar con líderes locales, hombres, receptores de innovaciones (visión etnocentrista) y con los más activos (visión aún más etnocentrista); d) el de la comodidad, es decir, el sesgo por el cual solamente se trabaja en las estaciones secas ya que las condiciones climáticas son más favorables; d) el de la delicadeza con los pobres (sesgo de la diplomacia), lo que se traduce en que es muy importante ser diplomático y mostrarse educado y tímido al hablar sobre la pobreza del país, región o pueblo estudiado; e) el sesgo de la profesionalidad, por el cual es necesario no involucrarse en problemas ajenos a nuestra especialidad (Chambers, 1983). Mediante el debate generado por esta crítica se sientan las bases metodológicas de la "agricultura participativa" (Cornwall *et al.*, 1994) y los diagnósticos participativos que a pesar de su, en no pocas ocasiones, instrumentalización de la gente, permite mediante la aplicación de la "investigación acción participativa" (Fals-Borda, 1986; 1987) al desarrollo urbano (Villasante, 1995; 1998) o al rural (Guzmán *et al.*, 2000) alcanzar la praxis intelectual y política de la Agroecología.

3. Empiria: una interpretación agroecológica de las formas históricas de desarrollo rural

Antes de pasar al análisis de la implementación de las perspectivas teóricas, hasta aquí consideradas, mediante "formas históricas de desarrollo rural" merece la pena que consideremos, aunque sea esquemáticamente, un precedente no tenido en cuenta por el pensamiento científico convencional; que puede considerarse como una "protoforma histórica de desarrollo rural". Tal experiencia es conocida por la historiografía como la "Ida hacia el pueblo".

Hasta las primeras décadas de la presente centuria, en que aparece el desarrollo

comunitario como invento norteamericano de la "Perspectiva teórica de la vida rural" (Farm Life and Rural Social Life Studies), que hemos analizado antes, no existe, en nuestra opinión, ninguna forma de actuación conocida que pueda denominarse propiamente desarrollo rural, salvo el movimiento intelectual y político conocido como la "ida hacia el pueblo". Surge éste en la coyuntura política de la abolición de la servidumbre que tuvo lugar en 1861 en Rusia. En torno a Chernyshevsky (un intelectual revolucionario) se nuclean una serie de grupos de obreros y estudiantes urbanos que constituirán la *Zemia i Volia* (Tierra y Libertad) y que a finales de los sesenta iniciarían una migración de jóvenes que van de las ciudades al campo, convencidos del "instinto socialista" del campesinado, buscando una alianza mediante la "fórmula del fundirse con el pueblo". Se entendía por tal establecer un intercambio de conocimientos que permitiera iniciar un diálogo de igual a igual entre los campesinos y los intelectuales, generando lo que en la actualidad se conoce como investigación-acción participativa o como desarrollo participativo de tecnologías agrarias, cuando se aplica a nivel de finca (Guzmán Casado *et al.*, 2000) Este movimiento desarrolló fórmulas de acción social colectivas de naturaleza simétrica (campesinos-intelectuales), tratando de demostrar la realidad de la "teoría de la marcha atrás". En otras palabras, se pretendía impedir la penetración del capitalismo en las comunidades rurales para evitar la desintegración sociocultural y económica que se había producido en las sociedades rurales de los países europeos que habían iniciado sus procesos de industrialización de su agricultura. El surgimiento de grupos de estudiantes decididos a analizar el movimiento campesino y trabajar por sus intereses no era algo nuevo, ya que en los años sesenta venía sucediendo de forma gradual y clandestina, con una fuerte autonomía local y con una organización altamente fragmentada. Durante los años 1873-74 la emigración de jóvenes al campo, para vivir en las mismas condiciones que el campesinado, pasa a ser un movimiento que adquiere un carácter masivo, abarcando más de 30 provincias, principalmente en las zonas del Volga, el Don y Dnieper. No se trataba de enseñar a los campesinos imponiéndoles los ideales del "socialismo occidental", sino, por el contrario, de recoger de ellos sus necesidades reales ante el convencimiento de que los campesinos eran conscientes de "las ventajas del atraso". Fue una explosión romántica de "fe en los instintos socialistas del campesinado ruso" al tiempo que un deber ético hacia los demás. Los miles de hombres y mujeres que marcharon a los pueblos durante aquellos años respondían así a una obligación moral consigo mismos y con el campesinado: pretendían demostrar que la ayuda mutua era el motor de la historia (Shanin, 1984).

Las técnicas participativas y los métodos de extensión que pretendieron desarrollar recordaban claramente a lo que Alexander Chayanov llamaría más tarde "agronomía social". No obstante, los resultados del movimiento de "ida hacia el pueblo" fueron muy desalentadores. Sus jóvenes entusiastas fueron a menudo arrestados por la policía con la colaboración activa de aquellos a quienes deseaban preparar para la futura revolución o levantar con una inmediata insurrección. Los campesinos rusos se mostraron mucho

menos receptivos a las ideas socialistas de lo que habían creído los intelectuales revolucionarios. El movimiento populista había atravesado una gran experiencia; faltaba analizarla y sacar conclusiones. Ello fue lo que llevó a cabo más tarde el neopopulismo de Chayanov y su escuela de agrónomos rusos (Shanin, 1984; Sevilla Guzmán & Heiser, 1988), como veremos al considerar los marcos teóricos del Pensamiento Alternativo.

Es posible diferenciar, haciendo una abstracción de la multitud de experiencias, realmente existentes, de desarrollo rural tres formas históricas: el Desarrollo Comunitario, el Desarrollo Rural Integrado y el Desarrollo Rural Sostenible, común para ambas. En la tabla 2, presentamos una cronología de dichas formas históricas.

Tabla 2

La agricultura en las formas históricas de desarrollo rural (en décadas)

Forma Histórica	EEUU	Resto Norte	Sur	Implicación de la agricultura
Comunitario	20-30	60-70	40-60	Alta
Integrado	50-60	70-80	60-80	Media
Sostenible	90-00	90-00	90-00	Baja

La génesis teórica de la primera forma histórica de desarrollo rural tuvo lugar en los años 20-30 en EEUU, concretamente en las tradiciones sociológicas conocidas como"Sociología de la Vida Rural", ya considerada, para el Desarrollo Rural y la "Escuela de Chicago", para el Desarrollo Urbano. Desde esta perspectiva urbana se trataba de estudiar los "ghettos" o bolsas de pobreza étnicamente diferenciada intentando generar inútilmente estructuras sociales de integración a la comunidad (Castells, 1972) No obstante, lo relevante para el argumento de estos papeles es la implementación política, a nivel global, del debate en torno a la naturaleza (campesina o industrial) del manejo de los recursos naturales. Ello tuvo lugar por medio de la introducción masiva de semillas de alto rendimiento vinculadas a paquetes de agrotóxicos, dentro del proceso que convino en denominarse "revolución verde"; su instrumentalización práctica puede ser interpretada como la primera forma histórica del desarrollo rural: el desarrollo comunitario. Ello es así, si aceptamos como "definición operativa" de desarrollo rural la esbozada más arriba: elevar el nivel de vida de la población rural ante la desorganización social y la pérdida de diversidad sociocultural generada por el avance del modelo productivo urbanoindustrial. En efecto, el conjunto de acciones para satisfacer las necesidades básicas de la población en materia educativa, sanitaria y de mejora de infraestructuras constituían claramente actividades de desarrollo rural, aunque su objetivo ultimo fuera la generación de un proceso de mercantilización creciente de sus estructuras productivas agrarias, pretendiendo con ello incrementar la productividad de la agricul-

tura introduciendo formas de manejo de naturaleza industrial a través de los paquetes que acompañaban a las semillas mejoradas (Preston, 1985).

Desde una perspectiva agroecológica la revolución verde, y por tanto el desarrollo comunitario como primera forma histórica de desarrollo rural, puede interpretarse como la última fase de un proceso masivo de descampesinización. En efecto, si aceptamos la definición de campesinado que propone la agroecología como una forma de manejo de los recursos naturales que, allá donde no ha recibido presiones espúreas, ha mantenido los mecanismos de reproducción biótica de los ecosistemas que artificializaba (Altieri, 1991), habremos de concluir que ésta ha mantenido históricamente la sustentabilidad ecológica (Gliessman, 1978; 1989; Sevilla Guzman & Gonzalez de Molina, 1993). Sin embargo, ello solo pudo ser así, porque el manejo de los recursos naturales estaba inserto en matrices socioculturales que preservaban tal epistemología conservacionista (Toledo, 1989; 1993).

El proceso de descampesinización, empero, tiene raíces más profundas vinculadas: por un lado, a la depredación sociocultural sufrida por los llamados "pueblos sin historia" y al "imperialismo ecológico" desplegado por la identidad sociocultural occidental (Wolf, 1982; Crosby, 1986). Y, por otro lado, a la idea de "naturaleza" acuñada por la Ilustración, primero, y por el Liberalismo histórico, después, de que ésta, la naturaleza, constituye algo separado del hombre y susceptible de ser dominada por él, a través de la razón, pudiendo ser reducida a la condición de mero factor productivo susceptible de privatización, mercantilización y cientifización (van der Ploeg, 1993; Guzmán Casado *et. al.*, 2000). Así, para finales de la década de los 40 ya se había producido, en el denominado "primer mundo" o "centro de la economía mundo", la implantación hegemónica de un modo industrial de uso de los recursos naturales (Gadgil & Guha, 1992) en el que los mecanismos de reproducción biótica de los mismos podían ser forzados según las exigencias del mercado ya que "la ciencia, podría, a través del capital, sustituir los elementos deteriorados" (Martinez Alier; 1998). Faltaba, pues concluir el proceso en el resto del mundo; tarea que, en buena medida, llevó a cabo el Desarrollo Comunitario en su acompañamiento a la Revolución Verde; primero, y en su despliegue por la "periferia del centro", después, incluyendo aquí las zonas rurales europeas no intensificadas todavía por la agricultura industrializada.

En este contexto, la primera forma histórica de desarrollo rural puede ser definida como una estrategia vinculada a las acciones agronómicas de extensión que pretendía generar formas autogestionarias de acción social colectiva para conseguir: a) la aceptación de estilos de agricultura industrializada por parte de la población local; b) incrementar el nivel de vida de la población o en los casos extremos satisfacer sus necesidades básicas; y c) construir mecanismos de organización comunitaria para obtener la participación local en la maquinaria modernizadora de la administración estatal para transferir tecnologías externas y homogeneizar así el manejo de los recursos naturales, tornando con ello su naturaleza en industrial.

Esto supuso, respecto al manejo de los recursos naturales, que, la fertilidad natural del suelo y su consideración como algo vivo fuera sustituida por su utilización como un soporte inerte alimentado por química de síntesis. El aire y el agua dejaron de ser un contexto interrelacional con otros seres cuyas funciones podrían utilizarse, a modo de control sistémico, en la producción de bienes para el acceso a los medios de vida; para transformarse definitivamente en meros insumos productivos cuyos ciclos y procesos naturales podrían ser forzados, hasta obtener un máximo rendimiento, según las demandas del mercado, sin considerar el grado de reversibilidad del deterioro causado por dicho forzamiento. Y, finalmente que la biodiversidad fuera obviada, despreciándose el proceso de coevolución que la había generado (Shiva, 1996; Guzmán Casado *et al.*, 2000).

Peter Rooset ha analizado en forma lúcida y esquemática los resultados de esta primera forma histórica de desarrollo rural de la siguiente manera: "en primer lugar el permiso para que la tierra de cultivo sea comprada y vendida como bienes de consumo y sea permitida la acumulación de áreas por unos pocos...; en segundo lugar, la carencia de capacidad de negociación por los agricultores familiares y los trabajadores del campo ante los productores e intermediarios, recibiendo cada vez una parte menos de las ganancias del campo; y finalmente, la degradación de los suelos, la generación de nuevas plagas, malezas y enfermedades por las tecnologías dominantes destruyendo las bases de la producción futura y tornando cada vez más difícil y costoso el mantenimiento de las cosechas" (Rooset, 1998).

Resumiendo, la implementación de la revolución verde, a través del "desarrollo comunitario" como primera forma histórica del desarrollo rural, supuso para el llamado "tercer mundo" la sustitución masiva de los terrenos comunales por la propiedad privada superconcentrada y el desalojo generalizado de formas sociales de agricultura familiar por latifundios agroindustriales. Y para ambos, centro y periferia, la sustitución definitiva de los ciclos cerrados de energía y materiales del manejo campesino por la utilización masiva de insumos externos procedentes de las multinacionales a través de los bancos especuladores.

El imparable avance del modelo productivo agroindustrial había generado tan fuertes desequilibrios rural-urbanos que las políticas de desarrollo rural se mostraron imprescindibles para mitigar los costes sociales que exigía la instauración de la modernidad. Es así como en la mitad de los años sesenta se inician múltiples actividades intentando mejorar el nivel de vida de la población rural surgiendo la forma histórica que hemos denominado como Desarrollo Rural Integrado (DRI), para hacer justicia al apellido más conocido con el que se calificaba a tales acciones. En Europa las denominaciones de estas acciones fueron de armónico (buscando un equilibrio intersectorial); integrado, propiamente dicho (potenciando la agricultura a tiempo parcial, después calificada como pluriactividad); y ecodesarrollo (introduciendo el objetivo de evitar la degradación medioambiental), el cual tuvo una amplia difusión posterior en Latinoamérica donde adquirió prevalentemente las denominaciones de autocentrado (pretendiendo romper las formas de dependencia externa), endógeno (potenciando lo local), y local (movilizando a las poblaciones implicadas).

En un interesante trabajo de Etxezarreta (1988), ésta presenta una recopilación de los estudios más significativos de desarrollo rural integrado en Europa, de los que la autora obtiene una valiosa conceptualización del tema en los siguientes términos:

"El Desarrollo Rural Integrado consiste esencialmente en potenciar esquemas de desarrollo en el ámbito rural que tienen como objetivo la mejora del nivel de vida de la población del área implicada y no el crecimiento económico indiscriminado de un país. Para ello, se estimula el establecimiento de esquemas de actividad económica de base territorial, descentralizados y con un fuerte componente de decisión local, que movilice a la población en la prosecución de su bienestar mediante la máxima utilización de sus recursos propios, humanos y materiales. Se considera este método más adecuado para lograr el objetivo propuesto que la utilización de tecnología y recursos que provienen del exterior, para los que se propugna una fuerte adaptación a las situaciones y necesidades locales. Se postula una integración de las facetas materiales, sociales y personales de la comunidad local, que estimule una mayor participación social y la consecución de la dignidad de sus habitantes, así como la articulación de estas comunidades con la sociedad en general de una manera más armónica y equitativa" (Etxezarreta, 1988).

Con respecto al núcleo central de problemas que se pretende abordar desde la aplicación de los esquemas del DRI, hemos de señalar que éstos responden principalmente a la necesidad de establecer una mayor flexibilidad productiva y del empleo, tanto desde una perspectiva espacial, como de distribución de la población. No obstante, los objetivos que pretende cubrir el DRI vienen determinados por una diversidad de problemas que han sido abordados desde distintos enfoques. Básicamente estos problemas son: a) el desempleo estructural generado por la incapacidad de absorber la mano de obra procedente del sector agrario por parte de la industria en las áreas urbanas; b) los fuertes desequilibrios regionales generados por el desarrollo regional entre áreas urbanas/rurales, de forma general, y específicamente entre las zonas de alta productividad agrícola, incorporadas al proceso global de desarrollo capitalista, y aquellas otras descolgadas del sistema; c) en íntima relación con el punto anterior, hay que mencionar los desequilibrios demográficos ocasionados por el éxodo rural hacia las zonas industrializadas y que en el caso de ciertas áreas marginales ha llegado a provocar su despoblamiento; d) por último, los teóricos del DRI establecen un fuerte debate en torno a la cuestión de la planificación y gestión de este tipo acciones. Si bien todos ellos participaban de la idea de incorporar a la población implicada en la toma de decisiones, no estaban, sin embargo, de acuerdo en el papel que el Estado debe tener en estos procesos.

Por último, hay que destacar la diferencia de objetivos que las estrategias del DRI se plantean en su aplicación al "primer mundo", con respecto a los programas iniciales desarrollados en los países "pobres". Como ya hemos comentado anteriormente, en este último caso el objetivo principal de los programas de Desarrollo comunitario, primero, y de las acciones de DRI, después, era cubrir las necesidades básicas y paliar la situación de malnutrición de la población. Sin embargo, en la versión ultimada del DRI para los

países "desarrollados", el objetivo primordial es abordar el desempleo y reactivar social y económicamente áreas con un fuerte declive. La estrategia para ello es, como hemos visto, fomentar la pluriactividad económica; partiendo de la premisa de que las áreas deprimidas no pueden competir con los sistemas agrarios modernizados, y bajo el argumento de que tradicionalmente las comunidades rurales han mantenido una estructura económica diversificada; sobre la base de esta premisa, se fomentará el establecimiento de nuevas actividades que están provocando la terciarización de las economías rurales empobrecidas. La mayoría de las acciones de DRI van encaminadas a desarrollar el turismo rural de estas áreas; sin tener en cuenta la vocación agraria de la mismas y obviando que, incluso la realización de actividades turísticas, aprovechando la calidad del paisaje de las mismas, debería suponer el mantenimiento de los sistemas agrarios tradicionales que han dado forma a ese paisaje y lo han conservado históricamente.

Las pautas genéricas del despliegue del DRI son aplicables a todo el mundo, aún cuando el contexto histórico y la coyuntura intelectual exijan pequeñas matizaciones. Empero, en general puede afirmarse que el DRI supuso un ajuste necesario para la expansión del modo industrial de uso de los recursos naturales, para la recomposición de los espacios rurales en, por un lado, pequeños "focos altamente productivos y modernos"; y por otro, en grandes espacios "atrasados" en los que se buscaba actividades no agrarias para generar renta, ya que el proceso modernizador no aceptaba sus condiciones naturales para implementar su agricultura, la cual, no obstante, se iba introduciendo como un mecanismo erosionador del conocimiento local que transformaba en invisibles los estilos de manejo no industrializados. En muchos lugares de Latinoamérica, donde el "desarrollo comunitario" no había llegado, el DRI jugó el papel de apoyo a la sanidad, educación e infraestructuras, industrializando y mercantilizando un manejo cada vez más vinculado al mercado.

En general el DRI fue un mecanismo "expropiador de los agricultores" en la búsqueda de soluciones para mejorar su acceso a los medios de vida. Por ello no es de extrañar que, como veremos en el apartado próximo, el conjunto de experiencias alternativas de desarrollo rural emergentes en toda Latinoamérica "avant la lettre" pretendan recuperar los rasgos básicos de la agricultura tradicional que aparecen en el reservorio socioeconómico y éticoproductivo del campesinado que se resiste, a través de mecanismos difíciles de entender por la lógica del lucro (Scott, 1985) a la modernización urbanoindustrial del campo. En este sentido el comportamiento, de estos agricultores latinoamericanos, de resistencia a la trayectoria seguida por el desarrollo rural evidencia una resistencia a las políticas institucionales de modernización seguida por la articulación transnacional de los estados, a través de sus organismos internacionales (Fondo Monetario Internacional, Banco Mundial y Organización Mundial del Comercio, preferentemente).

A partir de los años ochenta, tales organismos adoptan como etiqueta la "sostenibilidad" promoviendo por todo el mundo el mismo tipo de acciones que hasta entonces se

venían realizando pero con un barniz ecologista de preservación de los recursos naturales: aparece así la forma histórica de Desarrollo Rural Sostenible (a partir de ahora DRS). El concepto de desarrollo sostenible implementado oficialmente por los organismos internacionales es el resultado de la interacción entre, por un lado, el quehacer científico y, por otro, las presiones de los centros de poder de la sociedad, que utilizan éste para legitimar sus formas de dominación. No es este lugar para escrutar su gestación teórica (Alonso Mielgo & Sevilla Guzmán, 1995) mediante un proceso de elaboración científico-institucional, donde las conceptualizaciones iniciales y los razonamientos empíricos quedaban subordinados a las presiones de las transnacionales sobre los Estados, que de manera hegemónica rigieron tal proceso.

Baste decir que el desarrollo sostenible responde al falso discurso ecologista diseñado por los organismos internacionales, a través de una construcción teórica ecotecnocrática que transmite el mensaje de que el planeta está en peligro, no porque los países ricos hayan desarrollado una forma de producción y consumo despilfarradora de energía y recursos, contaminante y destructora de los equilibrios naturales; sino, porque los "países pobres" tienen un gran crecimiento de población y deterioran la naturaleza, debido a su pobreza y degradante apropiación de los recursos naturales, mediante la tala de bosques y su esquilmante agricultura (científicamente marginalizada). La solución para los organismos internacionales institucionalizados y los bancos multilaterales de desarrollo, está en el proceso de globalización económica que, a través de un desarrollo sostenible, permita la generalización del consumo del Centro a las masas de la Periferia, en rápida multiplicación, mediante "la indispensable realización del potencial de crecimiento económico", buscando "la igualdad de oportunidades" en las sociedades "modernas y avanzadas" y la "satisfacción de sus necesidades básicas " en los "países menos desarrollados".

El Informe Brundtland, locus intelectual de tal propuesta, al considerar la naturaleza del manejo deseable de los recursos naturales en las experiencias productivas que habrían de desarrollar las tareas anteriormente señaladas, considera que "la industria es de importancia fundamental para la economía de las sociedades modernas y un motor indispensable del crecimiento" por lo que la agricultura que se ha "convertido prácticamente en una industria" gracias a las "nuevas tecnologías, la Revolución Verde... (y a sus) nuevas técnicas de cultivo de tejidos y de ingeniería genética podrán generar (otras) variedades de plantas capaces de retener el nitrógeno del aire, progreso que afectará espectacularmente a la industria de fertilizantes, pero que reducirá también la amenaza de la contaminación causada por los productos agroquímicos" (CMMAD, 1988). Así pues el manejo industrial de los recursos naturales es un requisito imprescindible para este tipo de "desarrollo oficial".

El DRS, obviamente, habría de plegarse a tales requisitos; es decir a la aplicación del manejo industrial de los recursos naturales a las zonas rurales que se resisten a su aceptación a través de la introducción de actividades no agrarias que contribuyan al proceso de privatización, mercantilización y cientifización de los recursos naturales, establecido por el modelo productivo urbanoindustrial y "ajustado" económicamente por el

desarrollo rural, en las distintas formas históricas hasta ahora consideradas. En este sentido el proceso de descampesinización hasta ahora delineado se ve reforzado por el DRS.

Así, con su implementación desde la década de los 90 el proceso de mercantilización creció en espiral, de tal manera que un número creciente de tareas e imputs básicos de la producción y de la subsistencia campesina fueron asignados a través de los mercados; los agricultores acabaron dependiendo para su subsistencia más del mercado que de la naturaleza. De una situación en la que la reproducción de los grupos domésticos era altamente autónoma se ha pasado a una situación en la que la reproducción depende del mercado y no de los agroecosistemas ("reproducción dependiente", según Jan Dowe van der Plöeg, 1993), razón por la que los agricultores familiares contribuyen hoy, igual que las grandes explotaciones, al deterioro del medio ambiente agrario: su subsistencia depende en mayor medida de que el flujo de nutrientes (fertilizantes), defensa contra plagas y enfermedades (fitosanitarios) y de combustibles (gasóleo o electricidad) para las máquinas y tractores no se detenga o alcance precios prohibitivos, que de la calidad ambiental de sus parcelas y del entorno que las rodea. Todo ello es el producto de un desarrollo rural sin la agricultura ya que los agricultores quedan excluidos de incorporar su conocimiento local al diseño de los métodos a través de los cuales pueden incrementar su nivel de vida. Es la planificación urbanoindustrial la que establece cuáles son sus necesidades y cual debe ser su articulación con la sociedad mayor.

4. Teoría agroecológica y empiria campesina: una propuesta agroecológica de desarrollo rural desde latinoamérica, a modo de conclusión

A modo de conclusión, queremos hacer una recapitulación final. Así, introducimos el trabajo mostrando la importancia de la dimensión social de la Agroecología; fundamentando que ésta sólo adquiere su naturaleza última al articular los aspectos técnicos (la aplicación de la ecología al manejo de los recursos naturales en el desarrollo participativo de tecnologías en finca) con los aspectos sociales que generen un acceso equitativo a los recursos: Después realizamos una incursión teórica por el pensamiento científico convencional, mostrando las aportaciones que, desde las Ciencias Sociales configuraron las herramientas a través de las cuales se implementaría, después, el desarrollo rural. Al hacerlo, mostramos críticamente la evolución de la naturaleza del manejo de los recursos naturales que subyace a los diseños de las distintas formas históricas de desarrollo rural. La trayectoria seguida se mueve desde la "cuestión agraria" (actores intervinientes en la artificialización de la naturaleza) a la "cuestión medioambiental" (modificar el manejo para evitar el deterioro creciente de la naturaleza). Continúa el trabajo con una interpretación agroecológica de la implementación del desarrollo rural; donde las múltiples acciones desarrolladas son clasificadas en tres categorías, mostrando su impacto ecológico y social.

En este último apartado pretendemos conjugar la empiria con la teoría: la empiria, a través de una reflexión desde la agroecología para mostrar el núcleo central de elementos que pueden extraerse del conjunto de experiencias productivas que, basadas fundamentalmente en formas de agricultura familiar pero de una naturaleza asociativa y con un alto grado de pluriactividad, surgen, esparciéndose por toda la superficie Latinoamericana, pareciéndonos mostrar la emergencia de un nuevo modelo de desarrollo rural. Y la teoría, mediante una esquemática presentación de la evolución del pensamiento alternativo surgido de la crítica y réplica al pensamiento científico convencional, anteriormente analizado.

Las experiencias productivas, que vamos a caracterizar esquemáticamente a continuación, aparecen en los bordes e intersticios de la estructura socioeconómica generada como consecuencia de la implantación del modelo agroindustrial producido por el paradigma de la modernización. Son formas de resistencia, primero, y de enfrentamiento, después, a su lógica depredadora de la naturaleza y la sociedad, mediante propuestas alternativas a través de su praxis productiva, intelectual y política de naturaleza medioambiental. Ofrecen, tales experiencias, un elenco de soluciones que permiten el diseño de estrategias productivas como aquellas que diseña la agroecología mediante su teoría y práctica, tanto tecnicoagronómica como intelectual y política.

En Argentina, son múltiples las experiencias de agricultura orgánica de naturaleza urbana; no pocas de ellas, con pretensiones de desarrollo urbano como es el caso de las desarrolladas en la cuidad de Rosario donde se trabaja en este sentido desde 1988. Tales actividades de desarrollo con familias o grupos de bajos recursos, tratan de mostrar que esto, pueden organizarse para producir parte de sus propios alimentos y que la "huerta ecológica urbana" puede constituir un elemento válido para la organización popular, y un aporte posible para propuestas de desarrollo local, integrales y participativas. En varias "villas miseria" existen experiencias de este tipo que, vinculados con "centros locales de salud", proveen a éstos de plantas medicinales (rescatadas desde el conocimiento "toba": Martínez Sarasola, 1992). La diseminación de este tipo de experiencias desde la Agroecología como desarrollo local urbano, podría marcar una dirección para evitar que miles de personas vivan actualmente de la basura que genera la ciudad de Rosario. En lugares donde las instituciones locales apoyan, mediante políticas públicas, este tipo de "experiencias espontáneas" tratando de articular éstas con programas nacionales, los resultados han sido sorprendentes como es el caso de Camilo Aldao (Terrile & Mariani, 2000).

En los últimos años se ha configurado una red de ONG´s que, intercambiando sus experiencias, han comenzado a coordinar sus acciones generando procesos de formación, a técnicos y productores en Agroecología y, otra serie de proyectos que se están implementando especialmente en el norte de la provincia de Santa Fe. Allí, en los últimos dos años se vienen desarollando "Semanas Agroecológicas de la Provincia de Santa Fe", que han consiguido abrir un proceso de institucionalización de la agroecología en dicha provincia mediante la articulación del conjunto de experiencias de producción, desarrollo, investigación, formación, promoción, y extensión, allí existentes en un Proyecto de Red de Productores Agroecológicos con la inter-

vención de las administraciones de cinco comunas agrupadas en una "microregión". Se construye así un espacio abierto, plural y diverso que permite, a los distintos actores que constituyen el "movimiento de agricultura ecológica argentino", conocer la estrategia agroecológica que se plantea desarrollar en aquella zona. Sin embargo, la experiencia agroecológica probablemente más relevante hasta ahora surgida en Argentina, tiene lugar en la provincia de Misiones donde existe un "Movimiento Agrario de Misiones" que articula una gran cantidad de experiencias productivas basadas en el "mejoramiento de lo tradicional, la diversificación productiva, la especialización en determinados rubros y el fortalecimiento de la producción para el consumo familiar". En el ámbito de la circulación, tales experiencias hacen énfasis en la transformación de sus productos y la búsqueda de nuevos mercados mediante fuertes infraestructuras de venta conjunta constituyéndose así las Ferias Francas de Misiones. Refiriendose a la creación de una de estas Ferias Francas, el Presidente de la Asociación de las Ferias Francas de Misiones, reproduce la siguiente frase de los agricultores involucrados en el proyecto: " nosotros no inventamos las Ferias Francas; estamos reproduciendo aquí una experiencia milenaria...". En esta provincia todas las semanas del año tienen lugar veintisiete ferias francas, a las que acuden más de dos mil agricultores para, a través de redes de intercambio de experiencias de manejo y de insumos, vender directamente sus productos en las ciudades (Carballo, 2000). Es obligado resaltar al núcleo central de este "movimiento", la Red de Agricultura Orgánica de Misiones (RAOM) por su praxis intelectual y política claramente agroecológica.

Si en Argentina el movimiento agroecológico es importante, lo es mucho más en Brasil, especialmente en el Estado de Rio Grande do Sul, donde la investigación realizada por Francisco Roberto Caporal ("La Extensión Agraria del Sector Público ante los desafíos del Desarrollo Sostenible: el caso de Rio Grande do Sul"; Tesis Doctoral leída en el ISEC, en 1998) está tratando de implementarse en EMATER, organismo estadual de extensión agraria, donde se ha adoptado la Agroecología como política oficial, declarándose asimismo dicho estado "libre de transgénicos"; y donde existen múltiples experiencias de la naturaleza de las arriba señaladas (Cf. la Tesis Doctoral de Jose Antonio Costabeber, también funcionario de EMATER: "Acción Social colectiva y Procesos de Transición Agroecológica en Rio Grande do Sul", leída en el ISEC en 1998). En EMBRAPA (Empresa de Investigación Agropecuaria Pública de Brasil), en la región sur de Rio Grande do Sul, está en ejecución un importante proyecto de investigación, a partir de otra tesis doctoral también leída en el ISEC ("Pluralismo metodológico en la producción y circulación del conocimiento agrario. Fundamentación epistemológicay aproximación empírica a casos del sur de Brasil", por João Carlos Costa Gomez, en 1999). En este proyecto, la participación de los actores sociales -agricultores familiares-, la interdisciplinariedad, la investigación participativa, la construcción de diálogos de saberes entre investigadores, técnicos de la extensión agraria y agricultores, además de la articulación entre las instituciones, son los "motores" del trabajo, cuya intención es la consolidación de la transición Agroecológica en la Agricultura Familiar de la región. La articulación rural-urbana de las experiencias brasileñas de Rio Grande do Sul es especialmente relevante en Porto Alegre: varios días a la semana, calles enteras se pueblan con tenderetes de

venta directa, donde cientos de cooperativas establecen "lazos de socialización agroecológica" con consumidores. Empero, el fenómeno agroecológico brasileño es mucho más amplio, ya que cientos de experiencias agroecológicas productivas se encuentran esparcidas por todo el país (Cf. la Tesis Doctoral de Joao Carlos Canuto, actual director de FEPAGRO, organismo responsable de la investigación agraria en Rio Grande de Sul: "Agricultura Ecológica en Brasil: Perspectivas Socioecológicas", leída en el ISEC, en 1998).

En forma análoga, en México, en los Estados de Jalisco (Cf. Tesis doctoral de Jaime Morales; investigador del ITESO de Guacalajara, leída en 1999 en el ISEC) y Michoacan (Víctor M. Toledo, 1991; 1995) existen numerosas experiencias que, mediante formas de acción social colectiva, organizan su producción y comercialización orgánicas enfrentándose a los mercados convencionales; igualmente sucede en Bolivia, en Cochabamba (cf. Tesis doctorales de Nelson Tapia y Freddy Delgado, investigadores de AGRUCO, leídas en 1999 y 2001, respectivamente, en el ISEC). Así como en Chile donde los excelentes trabajos del CET (antes en Santiago y hoy en Temuco) pero con ramificaciones en todo el estado e incluso en el resto de Latinoamérica a través de CLADES (Cf. su revista Agroecología y Desarrollo), dan buen ejemplo de la naturaleza de las experiencias a que nos estamos refiriendo; y que adquiere especial significación en el territorio Mapuche (Cf. la Tesis doctorales de Santiago Peredo Parada y Rene Montalban, actualmente en curso en el ISEC.). También en Colombia existe una Red de Custodios de Semillas, ya esparcida por todo el territorio, compuesta por agricultores que intercambian experiencias reivindicando una recuperación del conocimiento campesino local; aunque no pocas de tales propuestas alternativas de manejo tienen también un fuerte contenido indígena (Cf. Tesis Doctoral de Hernando Bernal, en curso en el ISEC).

Agricultores y campesinos, pertenecientes a las referidas experiencias en Argentina, Brasil, Bolivia, México, Chile y Colombia, se reunieron en diciembre de 1998 en un lugar de este último país, Pereira, estableciendo una declaración de principios, como miembros del Movimiento Agroecológico Latinoamericano (MAELA), en la que expresaban su "oposición al modelo neoliberal... por degradar la naturaleza y la sociedad. Al mismo tiempo establecían como un derecho de sus organizaciones locales la " gestión y el control de los recursos naturales... sin depender de insumos externos (agroquímicos y transgénicos), para la reproducción biológica de sus culturas", señalando su "apoyo a la promoción, el intercambio y difusión de experiencias locales de resistencia civil y la creación de alternativas de uso y conservación de variedades locales".

La utilización, como base empírica, de estos trabajos nos permite generalizar que múltiples experiencias alternativas de agricultura ecológica, emergen en Latinoamérica, presentando en sus trayectorias los siguientes rasgos: a) endogenización productiva a través de procesos de transición de agricultura convencional a formas de manejo de bajos "inputs" externos; b) diversificación de producciones (incluyendo aquellas "formas productivas" que suponen servicios medioambientales) y mercados para eliminar riesgos sociales y ecológicos; c) generación de redes locales de intercambios productivos en términos de semillas, conocimientos del manejo, y técnicas desarrolladas en finca; d) generación de redes regionales de intercambio para la cre-

ación de nuevos circuitos en los que introducir las "formas productivas" anteriormente señaladas y; e) generación de redes globales de intercambio de su "experiencia socioeconómica" respecto a la resistencia al modelo productivo generado por el paradigma de la modernización.

Empero, los rasgos hasta aquí establecidos de la "empiria campesina latinoamericana" coinciden en sus planteamientos básicos con la acumulación teórica de lo que en otro lugar hemos definido como la acumulación teórica del "Pensamiento alternativo" hacia la agroecología (Sevilla Guzmán,1997 y Woodgate, 1997a). En efecto, si definimos el pensamiento alternativo como el conjunto de propuestas que se enfrentan al modelo productivo agroindustrial actualmente hegemónico a lo largo de su configuración histórica; y consideramos que éstas surgen de una crítica a los marcos teóricos del pensamiento científico convencional anteriormente analizados; nos es posible, como en el caso anterior, agrupar las distintas propuestas teóricas en "perspectivas" más amplias que comparten el núcleo central de elementos de cada propuesta individual (Tabla 3).

Tabla 3

Perspectivas y marcos teóricos del desarrollo rural en el pensamiento alternativo.

Marcos Teóricos	Autores clave
Perspectiva teórica del neonarodnismo y marxismo heterodoxo	
Los espacios vacíos de capitalismo	R. Luxemburg
La cooperación vertical	N. Bukarin
La acumulación primitiva socialista	E. Preobrazhensky
Agronomía social	A. Chayanov
Perspectiva teórica de las teorías de la dependencia	
Centro-periferia / economía mundo	A. Gunder Frank, I. Wallerstein
Colonialismo interno	A Gorz, P. Casanova González, M. Hecter
Teorías de la articulación	A Bettelheim, P.P. Rey
	A Meillassoux, R. Montoya
Teorías de la transición	M. Godelier, H. Alavi
Ecodesarrollo	G. Bonfil Batalla; R. Stavenhagen
Perspectiva teórica de los estudios campesinos	
La economía moral	K. Polanyi; E.P. Thompson
La estructura social agraria	B. Galeski
Ecotipos históricos campesinos	A. Wolf, K. Wittfogel, S. Mintz
Antropología ecológica	A. Vayada; R. Rappaport
Neonarodnismo marxista	T. Shanin, M. Godelier
Perspectiva teórica de la agroecología	
Economía ecológica y ecología política	J Martínez Alier; JM Naredo
Aspectos ecológicos y agronómicos	MA Altieri; S R Gliessman
Coevolución etnoecológica	V M Toledo; RB Norgaard
Neonarodnismo ecológico	E Sevilla Guzmán; M González de Molina

Así, frente a la perspectiva de la "sociología de la vida rural" (que fundamenta el "desarrollo comunitario" para introducir un manejo industrial de los recursos naturales que sustituya al manejo campesino de los mismos), dentro del pensamiento científico convencional, aparece aquí, una "perspectiva neonarodnista y marxista heterodoxa". A través de ella se critica la desorganización social generada en las comunidades rurales por el proceso de privatización, mercantilización y cientifización de la agricultura que introduce el desarrollo del capitalismo. La Agronomía Social de Chayanov, recoge el legado de la "antigua tradición europea de estudios campesinos" que reivindica la existencia de bienes comunales (todo aquello que la naturaleza nos ofrece para el acceso de los medios de vida de la población) para elaborar una propuesta que, utilizando como modelo el manejo campesino de los recursos naturales, pretende evitar la desorganización social de las comunidades rurales. La "teoría de los espacios vacíos de capitalismo" es una conceptualización relativa a la existencia de una lógica que, aunque formalmente parezca plegarse a los designios del mercado, realmente se aleja de ella para emerger en los momentos pertinentes con formas asociativas de producción y circulación (teoría de cooperación vertical) y que critica la falsa participación en el establecimiento de estrategias socioeconómicas (La acumulación primitiva socialista).

La "Perspectiva de las Teorías de la Dependencia", parte de un análisis crítico de la génesis y evolución del funcionamiento de la "economía mundo", para evaluar el impacto a nivel local (Colonialismo interno y Teorías de la articulación) para hacer propuestas de cambio (Teorías de la transición), preservando la identidad sociocultural (Etnodesrrollo) de las comunidades rurales. De forma análoga, la "Perspectiva de los Estudios Campesinos", considera la necesidad de rescatar la solidaridad campesina histórica, frente a la lógica depredadora del modelo urbano agroindustrial (Economía moral) para, mediante un análisis de las especificidades ecosistémicas (ecotipos campesinos y Antropología ecológica), hacer propuestas de desarrollo local (Neonarodnismo marxista) basadas en las "tecnologías campesinas". Se llega así a la agroecología en los términos en que ha sido definida en la introducción y cuyos marcos teóricos más relevantes aparecen reseñados en la tabla.

El proceso teórico hasta aquí señalado hace una crítica sustantiva a la ciencia convencional (Funtowic & Ravetz, 1990; 1994) para, desde la comprensión del proceso histórico y de la evolución reciente del desarrollo rural implementado (analizado en el apartado III: Empiria) establecer propuestas alternativas. No obstante, tanto desde una perspectiva tecnoeconómica; como en su acepción sociocultural, el triunfo del modelo industrial-modernizador fue demoledor a lo largo del siglo XX. La utilización de la ciencia, y las tecnologías por ellas generadas, se impusieron en el manejo de los recursos naturales sustituyendo al conocimiento local, campesino e indígena. La naturaleza queda "dominada por el hombre" al aparecer la "lógica del lucro", a través del mercado, en el manejo de los recursos naturales y sustituir a la "lógica ecológica" de los ciclos y procesos biológicos preexistente. Igualmente la asepsia valorativa de la ciencia sustituye a la "anacrónica ética comunitaria de las cosmovisiones", basada en una economía moral que no aceptaba la distribución equitativa de los bienes a través del mercado.

Queremos terminar esta aportación, mediante la confección de una tabla en la que se detallan los elementos clave que constituyen la naturaleza de la agricultura en cada una de sus formas históricas, hasta llegar a la modernidad y a su desarrollo productivo agroindustrial (tabla 4). Frente a esta modernidad y, desde el manejo ecológico de los recursos naturales se presenta como emergentes distintas formas de desarrollo rural que parecen proponer "otra modernidad": sus características, presentadas en la última columna, parecen definir la nueva recampesinización necesaria para encarar la actual crisis ecológica y social.

Tabla 4

Características de la agricultura vinculada a cada forma histórica de desarrollo rural

	Comunitario de la revolución verde	Integral de la agroindustria	Sustentable de la "otra modernidad"
Naturaleza económica del valor	Transformar el "uso" en "cambio".	Sólo de "cambio".	Compatibilizar el "uso" y el "cambio"
Propiedad	Paso de lo comunitario a la privatización.	Privada.	Privada y bienes ecológicos comunales
Escala	Pequeña.	Mediana y grande.	Todas
Manejo	Del tradicional al industrial.	Industrial.	Agroecológico
Dependencia	Generación de vínculos al mercado.	Tecnológica y de capital. Energías, insumos y crédito externos.	Baja en capital, energía, insumos y crédito tendencia autosuficiencia.
Conocimiento deseado	Ruptura de las cosmovisiones.	Científico y biotecnológico.	Articulación del científico con el local.
Epistemología	Empírica y animística.	Ciencias agrarias.	Empírica y científica (natural y social).
Desechos	Poca producción con tendencia a pérdida del reacomodo y reciclaje.	Alta producción	Potenciación del reciclaje y reacomodo.
Naturaleza acción colectiva	Ruptura del comunitarismo. Cooperativismo para imputs externos.	Sólo para competitividad económica: la agricultura sólo es un negocio.	Intercambios productivos y socioeconómicos. Solidaridad medioambiental.
Diversidad	Tendencia a la reducción	Muy baja por la especialización y el monocultivo.	Potenciación ecogeográfica, biológica, genética, productiva y sociocultural.

Agradecimientos:

Quiero agradecer a mis compañeros del CEPAR (Argentina) y la Administración Agraria del sur de Brasil por haberme hecho partícipe de los procesos agroecológicos en que están involucrados; obviamente, de forma muy especial a Graciela Ottmann el haberme acompañado durante la redacción de este trabajo, que es en gran medida suyo; no sólo por haber aguantado mis neuras, sino por haber introducido una gran cantidad de ideas enriqueciendo sustancialmente el mismo. En Rosario, primavera de 2000.

Alonso Mielgo A & E Sevilla Guzmán (1995) Sobre el discurso ecotecnocrático de la sostenibilidad. En A. Cadenas (ed.) Agricultura y desarrollo sostenible (Madrid: MAPA, Serie Estudios).

Altieri MA (1987) Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture. Boulder Colorado: Westview Press.

Altieri MA (1991) Por qué estudiar la agricultura tradicional. En: Agroecología y Desarrollo, Año I (1):16-24.

Archetti EP & S Aass (1978) Peasant studies : An overview in Howard Newby (ed) International perspectives in rural sociology , John Wiley. New York

Bonnemaire J (1994) Farming systems research/exstention. Approach and the european Context: INRA Experience in creating a research structure for agrarian systems and development in France. En: JB Dent & MJ McGregor (eds.) 1994.

Carballo C (2000) Las ferias francas de Misiones. Actores y desafíos de un proceso de desarrollo local. Buenos Aires. Centro de Estudios y Promoción Agraria (CEPA) Documento de trabajo Nº 9. Mimeografiado

Castells M (1972) La question urbaine. París: Françoise Maspero.

Castells M (1998) La era de la información. Economía, sociedad y cultura. 3 vol. Madrid: Alianza Editorial

CMMAD (1988) Nuestro futuro común. Madrid. Alianza Editorial.

Cornely S (1977) Planeamiento y participación ciudadana. Buenos Aires; ECRO.

Cornwall A, I Guijt & A Welbourn (1994) Acknowledging process: challenges for agricultural research and extension methodology. In: Scoones I & J Thompson (eds.), Beyond farmer first. Rural people's knowledge agricultural research and extension practice. London. Inmediate Technology Publications Ltd.; pp. 98-117.

Crosby A (1986) Ecological imperialism. The biological expansion of Europe. 900-1900. Cambridge University Press.

Chambers R (1983) Rural development: putting the last first, London: IT Publications.

Extezarreta Zubizarreta M (1988) Desarrollo rural integrado. Serie Estudios, MAPA. Madrid

Fals-Borda O (1986) Conocimiento y poder popular. Bogotá : Siglo XXI,

Fals-Borda O (1987) The application of particitatory action-research (PAR). en Gibbon, David, 1994, Farming systems research/extension: Background Concepts, Experience and Networking. JB Dent & MJ McGregor (eds.)

Funtowic S & J Ravetz (1990) Uncertainty and quality in science and polity Kluwer, Dordrecht.

Funtowic S & J Ravetz (1994) Epistemología política: ciencia con la gente. Buenos Aires: Centro Editor de América Latina.

Gadgil M & R Guha (1992) This fissured land. (Delhi: Oxford University Press). Durán, R 1993, La explosión del desorden: La metrópoli como espacio de la crisis global.

Giner S & E Sevilla Guzmán (1980) The demise of the peasant: some reflections on ideological inroads into social theory in Sociologia Ruralis. XXX (1- 2): 13-27.

Gliessman SR (1978) Seminarios regionales sobre agroecosistemas con énfasis en el estudio de tecnología agrícola regional. Cárdenas, Tabasco, Mexico: CSAT.

Gliessman SR (1989) Agroecology. Researching the ecological basis for sustainable agriculture. New York Springer-Verlag.

Guzmán Casado G, M Gonzalez de Molina y E Sevilla Guzmán (2000) Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. Madrid: Mundi-Prensa.

Iturra R (1993) Letrados y campesinos: el método experimental en antropología económica. En: Sevilla Guzmán & González de Molina Navarro (eds.), Campesinado, ecología e historia (Madrid: La Piqueta)

Leff E (1994) Ecología y capital. Racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable, México: Siglo XXI, pp. 320-321

Leff E (1998) Saber ambiental. México: Siglo XXI.

Long N (1977) An introduction to the sociology of rural development. Tavistock Publications. London.

Martínez Alier J (1998) La economía ecológica como ecología humana. Fundación César Manrique. Madrid.

Martinez Sarasola C (1992) Nuestros paisanos los indios. Vida, historia y destino de las comunidades indígenas en la Argentina. pp 441-476 Buenos Aires. Emecé editores.

Newby H & E Sevilla Guzmán (1983) Introducción a la Sociología rural. Madrid: Alianza,

Preston PV (1985) New trends in development. Essays in development and social theory. London: Routledge and Kegan Paul.

Rooset P (1998) Mitos de la revolución verde (Oaklahd: Food First)

Sachs W (1992) The development dictionary: A guide to knowledge as power. London: Zed Books.

Scott J (1985) Weapons of the weak. everyday forms of peasant resistance. Massachussets: Yale University Press

Sevilla Guzmán E (1997) Origen, evolucao e perspentivas do desenvolvimento sustentavel. En: Jaecione Almeida e Zander Navarro (eds) Recontruindo a Agricultura. Idéias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável. (Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul, Brasil, UFRGS.

Sanin T (1984) Late Marx and the Russian Roat. London: Routledge and Kegan.

Sevilla Guzmán E & M González de Molina (1993) Ecología, campesinado e historia. La Piqueta. Madrid.

Sevilla Guzmán E & G Woodgate (1997a) Sustainable rural development: Forma industrial agriculture to agroecology. In: M Redclift & G Woodgate (Eds.) The International handbook of environmental sociology. Cheltenham: Edward Elgar.

Sevilla Guzmán E. & G Woodgate (1997b) From farming system research to agroecology En: Javier Calatrava et al, Proceeding of the Second European Congress on Farming Systems Research and Extension. Granada: Junta de Andalucía.

Sevilla Guzmán E (1995) The Role of Farming Systems Research/ Extension in Guiding Low Input Systems towards Sustainability: an Agroecological Approach for Andalusia. In: JB Dent & MJ McGregor (eds) Rural and Farming Systems Analysis: European Perspectives. Wallingford: CAB International.

Sevilla Guzmán E & K.Heisel (ed) Anarquismo y movimiento jornalero en Andalucís Córdoba: Excmo Ayuntamiento de Córdoba. Colección Juan Díaz del Moral.

Shanin T (1971) Peasant and peasant societies. Harmondsworth: Penguin.

Shanin T (1990) Defining peasants. Oxford: Basil Blackwell

Shiva V (1996) Recursos. en W Sachs. The development dictionary: A guide to knowledge as power. London: Zed Books.

Terrile R & S Mariani (2000) Análisis de políticas públicas de agricultura urbana en Camilo Aldao (Argentina) en el marco de un desarrollo local sustentable. Rosario: mimeografiado.

Toledo VM (1986) Vertientes de la ecología política. En: Ecología Política N° 0

Toledo VM (1989) The Ecological Rationality of Peasant Production en M Altieri & S Hecht (eds.). Agroecology and small-farm development. Boca Raton: CRC Press.

Toledo VM (1991) La resistencia ecológica del campesinado mexicano, in Memoria de Angel Palerm. Ecología Política Nº 1.

Toledo VM (1993) La racionalidad ecológica de la producción campesina. En: E Sevilla Guzmán y M González de Molina (eds).

Toledo VM (1995) Campesinidad, agroindustrialidad, sostenibilidad: los fundamentos ecológicos e históricos del desarrollo rural, en Cuadernos de trabajo del grupo interamericano para el desarrollo sostenible de la agricultura y los recursos naturales. Nº 3 29 pp .

van der Ploeg JD (1990) Labour, markets, and agricultural production. Boulder: Westview Press.

Villasante TR (1995) Las democracias participativas. Madrid: HOAC.

Villasante TR (1998) Cuatro redes para vivir mejor. De las redes sociales a las programaciones integrales. Buenos Aires: Lumen/Humánitas.

Wolf ER (1982) Europe and the people without history. Berkeley: University of California Press.

Dimensiones sociales de la agricultura sustentable

Marta B. Chiappe

Los agroecosistemas son en general definidos como ecosistemas que son gestionados para producir alimentos, fibras, y otros productos agrícolas. Un agroecosistema puede ser desde una huerta hasta una región, y puede ser percibido como incluyendo dos dimensiones: la biofísica y la humana. Entre las funciones específicas de un agroecosistema se encuentran la producción de bienes agrícolas y el soporte social y económico de las personas involucradas en la producción o dependientes de ella. Estas funciones productivas, sociales y económicas de los agroecosistemas se vinculan con la dimensión humana (Ramsey, 1995). Es a esta última dimensión a la que haremos especial referencia en este capítulo, examinando particularmente la influencia que ésta ejerce en la sustentabilidad de los sistemas agrícolas.

1. Modernización, sustentabilidad y agricultura

Como es ampliamente conocido, el proceso de modernización de la agricultura, tanto en los países industrializados, como en aquellos de bajos niveles de industrialización, ha estado asociado en los últimos 50 años a la adopción del modelo tecnológico difundido por la Revolución Verde. Este modelo, surgido en el período de post-guerra como respuesta al incremento poblacional, se desarrolló bajo el supuesto que los problemas de la pobreza y el hambre eran básicamente problemas de producción. Actualmente existe mayor conciencia que los problemas del hambre y la pobreza no se solucionan solamente con el aumento de la producción (Hecht, 1997) sino que también influyen factores relacionados con la distribución y el control de los recursos naturales y económicos.

El modelo de la Revolución Verde se asocia con la utilización de variedades de alto rendimiento, la expansión de monocultivos, la mecanización de las tareas agrícolas, y el uso de fertilizantes y otros insumos químicos (herbicidas, insecticidas, y fungicidas). Si bien es cierto que la incorporación de estas prácticas agrícolas ha producido un aumento sustantivo en los rendimientos de los cultivos, también es innegable que ha tenido un fuerte impacto en los recursos naturales, la calidad del medio ambiente y la salud de la

población rural y de los animales. Como consecuencia de la incorporación de tecnologías asociadas a la Revolución Verde se han generado diversos problemas ambientales y ecológicos tales como la erosión y compactación del suelo, la contaminación de las aguas subterráneas, la disminución de diversidad genética, la deforestación y desertificación, la acumulación de residuos de pesticidas en los productos alimenticios, la disminución de la fauna silvestre, y problemas sociales y económicos tales como una creciente inseguridad acerca de la productividad y rentabilidad futura de los establecimientos agrícolas y la marginación de los productores de menos recursos (Altieri, 1993; Conway & Barbier, 1990; Hecht, 1997; Lacy, 1993; Lockeretz, 1988; Rosset & Altieri, 1998; Staatz & Eicher, 1984). Adicionalmente, existe evidencia de rendimientos menores en las variedades de alto potencial de producción y de menor eficacia en la respuesta al uso de insumos (pesticidas y fertilizantes químicos). Según una corriente de interpretación, la disminución en los rendimientos ocurre porque se está llegando al máximo de rendimiento potencial, por lo cual la superación del mismo se dará en la medida que se produzcan nuevas variedades genéticamente mejoradas. Según el enfoque agroecológico, la nivelación se debe a la degradación de la base productiva de la agricultura por prácticas no sustentables. Asimismo, se observa que se deben aplicar dosis mucho más altas de fertilizantes químicos para obtener el mismo nivel de producción que el que se obtenía con un menor uso de insumos químicos (Rosset & Altieri, 1998).

Desde principios de los años 80 surge, en respuesta a la crisis generalizada de la agricultura industrial, una corriente denominada agricultura sustentable. El concepto de sustentabilidad encuentra sus raíces en el informe realizado por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas (más comúnmente conocida como "Comisión Brundtland"), el cual marca un cambio radical en la concepción de "desarrollo" que se venía utilizando desde la década del 50. Según la Comisión, el *desarrollo sustentable* es aquel que *"responde a las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas"* (WCED, 1987). Por lo tanto, desde esta perspectiva, el desarrollo no sólo implica crecimiento sino también la necesidad de preservar los recursos naturales y favorecer el desarrollo de los recursos humanos.

Sin embargo, más allá de la aceptación y amplia utilización que ha tenido el concepto, su significado es aún ambiguo y sujeto a diversas interpretaciones. Por un lado, como señala la Redclift (1993), no existe acuerdo acerca de qué es lo que debe sustentarse: para algunos es el nivel de producción, mientras que para otros es el nivel de consumo. Este aspecto es importante ya que un elemento que da origen a la no sustentabilidad global es el patrón de consumo de los países ricos. Por otro lado, si bien el informe hace hincapié en el derecho que tienen los pobres de satisfacer sus necesidades básicas, no se hace mayor referencia a la necesidad de redistribuir el ingreso existente y a la urgencia de introducir cambios en el patrón de consumo de los países más afluentes (Yurjevic, 1997). La clara implicancia del informe Brundtland es que a menos que se redefinan las relaciones políticas y económicas entre los países Norte-Sur, el desarrollo sustentable será una quimera (Redclift, 1993).

El concepto de *agricultura sustentable* es igualmente polémico y ambiguo y ha dado lugar también a diversas interpretaciones, las cuales han generado a su vez a propuestas y acciones diversas por parte de los diferentes actores sociales.

A grandes rasgos, entre la variedad de definiciones que se han presentado de agricultura sustentable es posible distinguir dos enfoques principales. El enfoque predominante se refiere principalmente a los aspectos ecológicos y tecnológicos de la sustentabilidad y hace énfasis en la conservación de los recursos, la calidad ambiental, y en algunos casos, la rentabilidad del establecimiento agropecuario. La segunda perspectiva, más amplia, incorpora en su discurso elementos sociales, económicos, y políticos que afectan la sustentabilidad de los sistemas agrícolas nacionales e internacionales (Allen *et al.*,1991).

La definición de FAO, que prioriza la dimensión ecológica en su definición de agricultura sustentable, es representativa del primer enfoque: *"Agricultura sustentable es el manejo y conservación de los recursos naturales y la orientación de cambios tecnológicos e institucionales de manera de asegurar la satisfacción de las necesidades humanas en forma continuada para las generaciones presentes y futuras. Tal desarrollo sustentable conserva el suelo, el agua, y recursos genéticos animales y vegetales; no degrada al medio ambiente; es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable"* (FAO, 1992, citado en von der Weid, 1994). Por lo tanto, desde esta concepción, la conservación de los recursos naturales y la utilización de técnicas que no dañen el ambiente son elementos esenciales para el logro de una agricultura sustentable. Aunque se alude a las dimensiones social y económica, el uso de los términos es poco preciso. Coincidiendo con Allen & Sachs (1993), resulta importante definir el sujeto social de la sustentabilidad y responder la pregunta "¿desarrollo económicamente viable y socialmente aceptable para quién?". Al no precisar los sujetos o los grupos sociales a quienes debe estar orientada la acción, es probable que se sigan manteniendo las estructuras socio-económicas de desigualdad económica y social características de muchas sociedades, especialmente en América Latina.

Entre las definiciones de agricultura sustentable que incluyen elementos sociales, económicos, y políticos se encuentra por ejemplo la elaborada por el IICA: *"La sustentabilidad de la agricultura y de los recursos naturales se refiere al uso de recursos biofísicos, económicos y sociales según su capacidad, en un espacio geográfico, para, mediante tecnologías biofísicas, económicas, sociales e institucionales, obtener bienes y servicios directos o indirectos de la agricultura y de los recursos naturales para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras. El valor presente de bienes y servicios debe representar más que un valor de las externalidades y los insumos incorporados, mejorando o por lo menos manteniendo de forma indefinida, la productividad futura del ambiente físico y social. Además de eso, el valor presente debe estar equitativamente distribuido entre los participantes del proceso"* (Ehlers, 1994). Según esta definición, mantenimiento o aumento de la productividad física y social, y distribución equitativa de los recursos, representan entonces componentes relevantes de la sustentabilidad agrícola.

Allen *et al.*, (1991), por su parte, proponen una definición de agricultura sustentable en la que se reconoce la interrelación entre los componentes productivos, ambientales, económicos, y sociales de la agricultura. Los autores señalan que: *"Una agricultura sustentable es aquella que equilibra equitativamente intereses relacionados con la calidad ambiental, la viabilidad económica, y la justicia social entre todos los sectores de la sociedad"*. Para Allen *et al.*, es esencial que la sustentabilidad se extienda no sólo a través del tiempo sino a nivel mundial, y que considere el bienestar no sólo de generaciones futuras sino de todas las personas y seres vivos de la biósfera. Allen & Sachs (1993), por su parte, sostienen que la agricultura sustentable debería incluir no sólo el proceso productivo, sino el conjunto del sistema alimenticio y agrícola. Más aún, estas autoras señalan que categorías como clase, género, y raza deberían ser tenidos en cuenta en el debate acerca del significado y las implicancias que conlleva una agricultura sustentable.

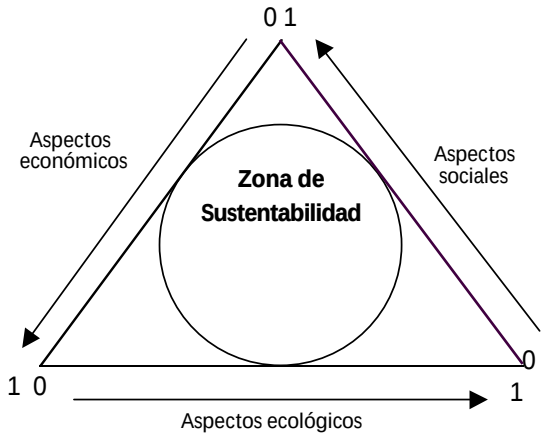
Astier & Masera (1997) también adoptan un enfoque amplio de agricultura sustentable. Siguiendo a Altieri (1994), quien propone que *"la agricultura sustentable intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, mediante el uso de tecnologías y prácticas de manejo que mejoren la eficiencia biológica del sistema"*, afirman que el interés central es la optimización del agroecosistema en su conjunto, en lugar de la maximización de los rendimientos a corto plazo. Agregan que, además, la agricultura sustentable busca *"una distribución justa y equitativa de los costos y beneficios asociados con la producción agrícola; se preocupa por el rescate crítico de las prácticas de manejo utilizadas por diferentes etnias y culturas, y busca reducir las desigualdades actuales en acceso a recursos productivos; intenta asimismo desarrollar tecnologías y sistemas de manejo adaptados a la diversidad de condiciones ecológicas, sociales y económicas locales; finalmente la agricultura sustentable trata de ser rentable económicamente—sin dejarse llevar por una lógica a corto plazo"*.

Desde nuestra perspectiva, la adopción de un enfoque amplio de agricultura sustentable que contemple tanto los aspectos ambientales o ecológicos, como sociales y económicos, permite un abordaje más adecuado para el planteo de estrategias alternativas de agricultura. Esto en el entendido que, tal como plantean Rosset (1998) y Rosset & Altieri (1998), *"cualquier paradigma alternativo que ofrezca alguna esperanza de sacar a la agricultura de la crisis debe considerar las fuerzas ecológicas, sociales y económicas. Un enfoque dirigido exclusivamente a aminorar los impactos ambientales, sin dirigirse a las difíciles condiciones sociales de austeridad que enfrentan los agricultores o las fuerzas económicas que perpetúan la crisis, está condenado al fracaso"*.

La Figura 1 ilustra lo dicho anteriormente. Si no se tiene en cuenta la interdependencia y complementariedad entre las dimensiones ecológicas, económicas y sociales, y se prioriza el desarrollo de una sola de ellas, es probable que las otras dos se vean afectadas y se tornen restricciones. Por lo tanto, para que exista un sistema sustentable, deben definirse estrategias que conduzcan a lograr un equilibrio entre los aspectos productivos, económicos y sociales (Müller, 1994).

Figura 1

Representación del concepto de agricultura sustentable.
Fuente: Adaptado de Müller (1994)



2. Importancia de las dimensiones sociales para una agricultura sustentable

Aunque como vimos anteriormente no existe un enfoque consensuado de agricultura sustentable, la necesidad de interrelacionar componentes sociales, económicos y productivos para el logro de la sustentabilidad es cada vez más reconocida. Más aún, algunos autores confieren un papel primordial a la dimensión social para avanzar hacia la sustentabilidad. Según Gertler (1994), la sustentabilidad es *"primero y antes que nada un tema social"*. Esta afirmación se fundamenta, por un lado, en que las comunidades son el sustrato social en las que se originan las prácticas de consumo y de producción tanto ecológica como socialmente apropiadas. Por otro lado, las comunidades (o grupos sociales) y las instituciones permiten que las personas realicen opciones orientadas a promover cambios para el conjunto de la sociedad—cambios relacionados por ejemplo con qué debería ser sustentable y cómo se debería sustentar. La importancia de tener en cuenta la dimensión social en los sistemas agrícolas para avanzar hacia la sustentabilidad ha dado lugar al estudio de los diversos aspectos que intervienen en la viabilidad y permanencia de las comunidades rurales.

Bryden (1994); Flora *et al.* (1994); Kearns & Joseph (1995; citado por Ramsey, 1995) y Kline (1994) señalan que tradicionalmente se ha distinguido entre dos tipos de comunidades: (1) comunidades de interés, y (2) comunidades físicas o geográficas (como en el caso de poblados, o cuencas). La era de la tecnología ha permitido la formación creciente de comunidades de interés o de afinidad fuera de los límites locales. Actualmente existen innumerables grupos o comunidades de individuos que interactúan entre sí a

pesar de vivir en distintos países y continentes. Las comunidades físicas en general están definidas por límites geográficos, políticos, o también ecológicos, tales como cuencas, valles, etc. Un mismo individuo puede pertenecer a diferentes comunidades, y a comunidades dentro de comunidades, por ej. puede pertenecer a un barrio, un grupo racial o religioso y un ecosistema. La definición de comunidad es por lo tanto muy laxa y es necesario definirla en la medida que se utilice como concepto para enmarcar un proyecto o un plan de acción.

Para el contexto rural, las referencias a la comunidad están asociadas frecuentemente al segundo concepto de comunidad. Una comunidad rural puede ser definida como una forma de asociación entre individuos, variando entre un conjunto de establecimientos individuales a pequeños poblados. A menudo es tácitamente asumido que los integrantes de la comunidad rural tienen intereses compartidos. Esto en la práctica no ocurre así, ya que, aunque puede haber algunos intereses que la gente comparte, existen muchas áreas en que las diferentes personas dentro de las comunidades físicas tienen intereses conflictivos y no coincidentes. Por lo tanto ambos tipos de comunidades pueden estar superpuestas, pero esto no tiene por qué ocurrir necesariamente así (Bryden, 1994).

Una tercera interpretación de comunidad que está emergiendo es la idea de un sistema social local, el cual proporciona una manera más útil de aproximarse al tema dentro de un contexto espacial. Debido a la naturaleza cambiante de "ruralidad", las maneras que consideramos y analizamos los sistemas sociales locales también están cambiando, debido a los cambios en los patrones y contenidos de las relaciones entre sistemas sociales diferentes. En particular, las interrelaciones o dependencias entre estos sistemas a niveles espaciales diferentes deben ser tomadas en cuenta. Pero se debe considerar que las comunidades rurales son más frecuentemente lugares de conflicto que de armonía. Construir la confianza dentro de la comunidad local puede ser por lo tanto un ingrediente esencial para encarar acciones efectivas. Otro aspecto importante puede ser construir relaciones efectivas con otros niveles espaciales (Bryden, 1994). Temas tales como el uso de los residuos, la conservación del suelo, la utilización de los recursos hídricos y la planificación del uso de la tierra deben ser abordados necesariamente a nivel de las comunidades locales, por lo que resulta imprescindible que existan redes y grupos capaces de plantear soluciones a los problemas que puedan presentarse. Estos son elementos que hacen al capital social y que discutiremos con mayor profundidad en el cuarto y quinto apartados.

Las comunidades sustentables se han definido como las que son económicamente viables, socialmente vitales, y ambientalmente adecuadas (Dykeman, citado por Ramsey, 1995). Otras características que también se incluyen son el sentido de pertenencia a la comunidad y la existencia de interacciones entre sus miembros (Ramsey, 1995). Según Kline (citado por Flora *et al.*, 1994) *"la sustentabilidad de una comunidad puede ser definida como la habilidad de una comunidad de utilizar sus recursos de manera tal que se asegure que todos sus miembros presentes y futuros de esa comunidad puedan alcanzar un grado mas*

alto de salud y bienestar, seguridad económica, y un espacio en la configuración del futuro, al tiempo de mantener la integridad de los sistemas ecológicos de los que depende la vida y la producción". Bryden (1994) señala que la sustentabilidad de las comunidades rurales depende de la capacidad de regenerarse a sí mismas a largo plazo en términos sociales, económicos y físicos. Similarmente, otros autores (Flora *et al.*, 1994) consideran que la sustentabilidad de las comunidades está basada en gran medida en la *resiliencia* que posean en respuesta a los cambios en las condiciones en el ambiente. Para que las comunidades sean sustentables, debe existir disponibilidad de recursos y cumplirse algunas condiciones (Bryden, 1994):

- La comunidad debe ser capaz de reproducirse al menos en términos físicos y materiales.
- Deben existir mecanismos que permitan a las comunidades aprender, adaptarse y evolucionar.
- Debe existir suficiente número de gente joven para poder producir la siguiente generación.
- Los integrantes de la comunidad deben permanecer en la misma o ser reemplazados por nuevos pobladores jóvenes.
- Deben existir medios de vida que colmen ampliamente los aspectos materiales y no materiales de la vida.
- Los integrantes deben ser capaces y tener posibilidades de influir en los procesos de decisión que determinan su futuro.

Kline (1994) señala que una comunidad sustentable se caracteriza porque sus integrantes experimentan un bienestar social dado por su sentido de pertenencia a la misma, de interconexión, de conocimiento entre sus miembros, y de seguridad y de conexión con la naturaleza. Además de brindar bienes y servicios necesarios para el mantenimiento (alimentación, salud, educación, vivienda, vestimenta, seguridad) un aspecto crítico de una comunidad sustentable es el sentimiento de autovaloración, de satisfacción, de respeto mutuo, y de capacidad de dar respuesta a las necesidades de otros que tienen sus individuos.

Autores tales como Berry (1987); Thompson & Thompson (1994); Kleinschmidt *et al.*, (1994) (citados por Flora, 1995) y Lasley, Hoiberg & Bultena (1993, citado por Ramsey, 1995), asocian la existencia de predios familiares a la sustentabilidad de las comunidades rurales. La mayor ocupación de mano de obra por unidad de superficie, el mayor número de establecimientos, los tamaños más pequeños de predios- aspectos asociados con el predominio de establecimientos familiares- redundan según estos autores en una mayor viabilidad de las comunidades rurales. Desde este punto de vista, los crecientes obstáculos a la reproducción social y económica de predios familiares existentes en muchas regiones (Gertler, 1994), y especialmente en América Latina, hacen que la sustentabilidad de las comunidades rurales se vea amenazada. A esto se le suman los impactos negativos de la globalización, que atentan contra el control y la autogestión de las comunidades por parte de sus residentes, y aún por parte de los gobiernos estatales y federales (Ramsey, 1995). Al existir una mayor concentración de capital en los diversos

sectores que integran el sistema agroalimientario, la exclusión de los sectores de producción de pequeña escala se hace cada vez mayor (Teubal, 1998).

Gertler (1994), examinando la sustentabilidad social y ecológica de las Planicies Canadienses, concluye que existe una crisis prolongada que ha impactado en las comunidades rurales más allá de lo que comúnmente se entiende por "crisis productiva" ("farm crisis"). Según su interpretación, en el centro de esta crisis rural se encuentra una crisis agraria, aunque los problemas no se limitan al sector agrícola. La crisis rural tiene dimensiones económicas, políticas, ecológicas, demográficas y sociales, todas interconectadas entre sí. Más aún, para Gertler, se trata de una crisis "cultural", entendiendo cultura en su sentido más amplio, la cual engloba la cultura material (herramientas y técnicas), la cultura social (arreglos institucionales y organizacionales), y la ideología, es decir, los significados que asignan las personas a lo que ocurre, lo que es considerado apropiado y correcto, y la manera en que orientan sus acciones. Las transformaciones ocurridas en las comunidades agrícolas en términos económicos, organizativos y políticos conllevan importantes costos tales como pérdida de capital social, pérdida de conocimiento local, y la desarticulación de muchos aspectos de la vida comunitaria. La noción de que algunas comunidades rurales están en condiciones de sobrevivencia se refleja en la siguiente afirmación: *"El desafío en la zona rural de Saskatchewan no es simplemente ganarse la vida. Es también el problema social -y perceptivo-de hacer que la vida valga la pena ser vivida"* (Gertler, 1995).

A pesar de esta situación, para 1996, existían en Canadá más de 300 comunidades que se habían autodesignado oficialmente como "Comunidades Saludables" ("Healthy Communities"), las cuales abarcaban tanto comunidades urbanas como rurales. El movimiento Ciudades Saludables/Comunidades Saludables es una iniciativa a escala mundial que comenzó en 1986 promovida por la Organización Mundial de la Salud Naciones Unidas. Esta idea está basada en tres supuestos claves acerca de la naturaleza de la sustentabilidad de la comunidad y del bienestar individual: (1) el gobierno local tiene un rol critico en promover la calidad de vida de las comunidades; (2) la salud individual es ampliamente dependiente de la calidad de vida de la comunidad; (3) cuanto más equitativamente son distribuidos los beneficios del desarrollo social y económico, mejor será la salud de la población y más alto el nivel de vida de toda la comunidad. Los procesos de evaluación de sustentabilidad comunitaria se realizan mediante indicadores de calidad de vida (QLI: Quality of Life Indicators). Estos procesos son llevados adelante en su mayoría en forma participativa, particularmente en áreas no urbanas (Wismer, 1999).

En América Latina, los indicadores de pobreza ponen en evidencia las carencias y limitaciones del modelo económico adoptado. Según la CEPAL, en América Latina y el Caribe *"la situación de pobreza alcanzó, para 1994, a un 39% de los hogares (209,3 millones de personas pobres) incluidos 98.3 millones en extrema pobreza, de los cuales 73,9 millones son pobres en el medio rural y de ellos 46.4 millones en extrema pobreza. El crecimiento económico, de 1991 a 1996, ha sido moderado, inestable e insuficiente para generar empleos a toda la población económicamente activa actual y emergente. Para el BID, la magnitud*

de las desigualdades en la distribución del ingreso es preocupante; una cuarta parte del total nacional es percibida por sólo 5% de la población, y un 40% por el 10% más rico; además, los índices de concentración del ingreso en las zonas urbanas y rurales presentan niveles semejantes entre sí en casi todos los países" (IICA, 1999).

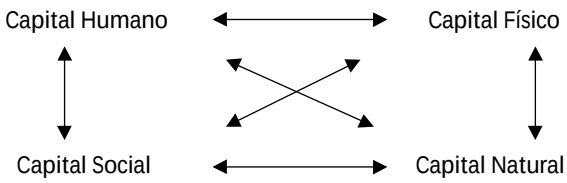
Dada esta situación, de acuerdo con Altieri (1993), además de tener en cuenta los aspectos relacionados al manejo ambiental, el acento en el logro de una agricultura sustentable debe ponerse en la reducción de la pobreza, la obtención de seguridad y autosuficiencia alimentaria, y la transformación de comunidades rurales en actores sociales capaces de determinar su propio desarrollo. En este sentido, las agencias de desarrollo nacionales e internacionales han impulsado estrategias y programas que en su mayoría no han sido eficaces en tanto no han alcanzado a los sectores de menores recursos y no han resuelto los problemas de la pobreza y la malnutrición. En muchos países de América Latina, las organizaciones no gubernamentales (ONGs) han sido pioneras en el trabajo con los sectores más empobrecidos, convirtiéndose en actores principales en la búsqueda de un camino más sustentable que integre no sólo el aumento de la productividad y la conservación de los recursos sino también un cambio en los sistemas socioeconómicos y políticos. Los proyectos implementados por las ONGs en conjunto con los sectores campesinos desde una perspectiva agroecológica han tenido impactos importantes en la generación y la difusión de tecnologías apropiadas para las condiciones socioeconómicas y geográficas de las poblaciones locales (Altieri, 1993; Altieri *et al.*, 1994).

3. Sustentabilidad y tipos de capital

Como fue mencionado en la sección anterior, la resiliencia de las comunidades depende de los recursos disponibles en las mismas. Estos recursos pueden ser interpretados como la existencia de diversas formas de capital. Flora *et al.*, (1994) distinguen cuatro tipos de capital: capital físico-financiero, capital humano, capital natural, y capital social. La Figura 2 ilustra las formas de capital existentes en una comunidad y las interrelaciones que existen entre las mismas.

Figura 2

Formas de capital en una comunidad.
Fuente: Flora *et al.*, (1994).



El ***capital humano*** se refiere al nivel de capacitación de los integrantes de una comunidad, por ejemplo, las habilidades, educación y destrezas con las que los trabajadores realizan su labor. Comúnmente se mide en términos de nivel de educación alcanzado, y también incluye capacidad de liderazgo o de conducción, experiencia acumulada, conocimiento local y nivel de salud.

El ***capital físico*** consiste en los bienes públicos y privados y los activos financieros, es decir, los activos utilizados en el proceso de producción (a los que generalmente se denominan en forma genérica "capital") es decir, todo aquello monetarizado o que es convertible a términos monetarios. Se incluyen en esta categoría tanto edificaciones, represas, estaciones eléctricas, maquinaria, insumos químicos, como depósitos bancarios, capital de inversión, e impuestos. En general existe la tendencia a juzgar el desarrollo de una comunidad por el incremento en el capital físico, debido en parte a que éste es fácil de medir. Las estrategias de sustentabilidad apuntan a mantener el capital físico a lo largo del tiempo, incluyendo tanto su distribución como el monto total.

El ***capital natural*** está compuesto por la cantidad y calidad de los recursos naturales disponibles: agua, suelo, aire, biodiversidad, paisaje. En términos de sustentabilidad interesa lo que es el consumo y la inversión en el capital natural así como el mantenimiento o la conservación.

El ***capital social*** se define como las normas colectivas de reciprocidad y confianza mutua entre las personas. Putnam (1993, citado por Flora *et al.*, 1994) señala que el capital social está constituido por los aspectos de la organización social que facilitan la coordinación y la cooperación para el beneficio mutuo. Estos aspectos incluyen redes entre individuos, niveles de organización, normas, niveles de confianza, y reciprocidad.

Flora *et al.* (1994) enfatizan que la interacción entre las diferentes formas de capital es necesaria para la sustentabilidad. Más aún, cada tipo de capital puede aumentar la "productividad" de las otras formas de capital, es decir, hacer a las otras formas más eficientes. En contraposición, darle más énfasis a una forma de capital por encima de las otras puede hacer que éstas últimas tiendan a disminuir. Por ejemplo, generar capital físico tal como el aumento de los rendimientos sin tener en cuenta los efectos sobre la calidad del suelo o el agua (capital natural), sobre la salud (lo cual afecta el capital humano) o sobre las redes locales (capital social) puede repercutir negativamente sobre éstos y provocar su degradación.

4. Capital social

Dado que el capital social es la principal forma de capital que nos ocupa en este artículo, nos detendremos en esta categoría examinando las principales aproximaciones al concepto según diversas corrientes y las implicancias que se le atribuyen al mismo para el logro de una agricultura sustentable.

Desde una perspectiva funcionalista (identificada con la sociología norteamericana), el capital social está compuesto por normas de reciprocidad y confianza mutua. Las interacciones, redes, y relaciones entre los diversos actores de una comunidad determinada o de un grupo en particular, son de primordial importancia para que exista capital social. El fortalecimiento de las relaciones y de las comunicaciones se produce cuando ocurren interacciones crecientes entre grupos de diversa índole dentro de la comunidad, interacciones crecientes con grupos de fuera de la comunidad, y cuando aumenta la disponibilidad de información entre los miembros de una comunidad. Los principales exponentes de esta perspectiva son Robert Putnam y James Coleman. Si bien existen diferencias de enfoques entre estos autores, ambos consideran el capital social como un bien público y un recurso de la comunidad que tiende a ser subestimado; asimismo, los dos plantean la manipulación de la estructura social para generar capital social y provocar el cambio social (Flora, 1995; Flora & Flora, 1999; Wall *et al.*, 1998).

Según esta corriente, es posible identificar al menos tres formas de capital social: (1) horizontal; (2) jerárquico, e (3) inexistente. El capital social *horizontal* implica formas igualitarias de reciprocidad, es decir, los integrantes dan y reciben en forma mutua. Cuando existe capital social *jerárquico*, si bien existen la reciprocidad y la confianza mutua, se establecen relaciones verticales, esto es, relaciones de dependencia, de subordinación, tales como cuando existen relaciones patrón-asalariado, o relaciones clientelistas. Se habla de capital social *inexistente* cuando encontramos condiciones de aislamiento entre los individuos: existe poca confianza, poca interacción, y un alto nivel de conflictividad. En estos casos en general se produce la sustitución del capital social por capital físico: sistemas de seguridad, alarmas, etc. (Flora *et al.*, 1994).

Desde la sociología europea (cuyo representante más notorio en este campo es Pierre Bourdieu), el concepto de capital social se utiliza para examinar cómo las conexiones asociadas con redes locales refuerzan la jerarquía social y el poder diferencial. Bourdieu señala que la creación y la eficacia del capital social dependen de la pertenencia a un grupo social cuyos miembros o representantes establecen límites entre los grupos a través del intercambio de objetos y símbolos. Según esta perspectiva, el acceso al capital social significa que la gente tiene conexiones con otros individuos que, al disponer de mayor capital económico y cultural, pueden asistirlos con consejos, otros contactos, préstamos, etc. (Wall *et al.*, 1998).

A pesar de estas diferencias, se percibe un significado común entre estas connotaciones de capital social. Así, existe acuerdo en que el capital social está compuesto de redes sociales que pueden ser activadas, y un entendimiento implícito que el capital social es útil para preservar y profundizar otros aspectos, tales como el aprendizaje, la movilidad social, el crecimiento económico, la notoriedad política o la vitalidad comunitaria. Las redes son, por tanto, un componente crucial del capital social, para cuya formación es esencial la existencia de una infraestructura social diversa, es decir, redes formadas entre individuos de diversas características: hombres y mujeres, diferentes razas y grupos étnicos, diferentes clases sociales, y diferentes edades (Flora *et al.*, 1994; Wall *et al.*, 1998).

Desde esta perspectiva, uno de los pilares de la sustentabilidad sería la construcción de redes horizontales y verticales entre los miembros de diferentes comunidades. Las redes horizontales favorecen el *aprendizaje lateral*, o sea, la cooperación y el intercambio de información entre comunidades (Flora *et al.*, 1994). Este ocurre cuando por ejemplo un grupo de productores de una comunidad se organiza para visitar a otro grupo de otra comunidad dentro o fuera de fronteras (en este sentido, es posible citar como ejemplo la cooperación que se ha dado frecuentemente entre productores de Chile, Argentina, Brasil y Uruguay).

Las redes verticales entre comunidades y organismos regionales, estatales, o nacionales contribuyen a la construcción de una infraestructura social más fuerte y son necesarias para que exista un desarrollo sustentable de las comunidades. Los vínculos que se establecen entre los individuos de una comunidad y los recursos y mercados externos a la misma deben ser amplios, ya que de existir pocas vías de contacto se concentra el poder en pocos individuos y se acentúa el capital social jerárquico.

La habilidad de una comunidad de movilizar sus recursos es esencial para el desarrollo del capital social y constituye una parte vital de la infraestructura social. Los recursos son definidos de manera amplia, abarcando no sólo recursos monetarios sino también el conocimiento acumulado por algunos miembros de la comunidad, el acceso a la educación, y la realización de inversiones colectivas y privadas. Cuanto más sean las inversiones realizadas en la comunidad y el acceso a las mismas sea equitativo, existirá una mayor infraestructura social y, por ende, una mejor calidad de vida.

Los aspectos culturales constituyen otro componente fundamental del capital social. La identidad y diversidad cultural de las comunidades locales está data por los valores, formas de organización, y de solidaridad, expresiones éticas, sistemas productivos y tecnológicos, creencias, y expresiones estéticas y artísticas (IICA, 1999). La comprensión de estos aspectos es esencial para lograr el fortalecimiento y desarrollo de las comunidades.

Por último, la construcción de capital social es asociada frecuentemente con características de género. Estudios etnográficos muestran que si bien los hombres están presentes en sistemas de capital social, las mujeres dependen en mayor medida del capital social como una fuente primaria de sobrevivencia. Los sistemas de capital social tienen una naturaleza "genérica" (están asociados al género) debido a los diferentes roles socialmente asignados a las mujeres y hombres en la esfera pública y privada. En general, los hombres tienen un rol preponderante en las políticas comunitarias, mientras que las mujeres son responsables por la gestión comunitaria como extensión de su rol preponderante en el trabajo doméstico y reproductivo.

5. Indicadores sociales de sustentabilidad

La necesidad de predecir como debería ser un sistema agrícola sustentable ha llevado a la creación de indicadores mensurables de agricultura sustentable (Beus & Dunlap, 1990;

Dunlap *et al.*, 1992; Kline, 1994; Neher, 1992; entre otros) y al desarrollo de metodologías para identificar y definir indicadores de sustentabilidad apropiados a los distintos sistemas sociales (Astier & Masera, 1997; Dumansky, 1994; Müller, 1994; Ticsay-Ruscoe, 1994).

Todos los trabajos mencionados dan cuenta de la necesidad de integrar los múltiples componentes que hacen a la agricultura sustentable. Así por ejemplo, Dunlap *et al.*, (1992) identificaron indicadores basándose en tres dimensiones de agricultura sustentable: ecológicas, éticas, y socioeconómicas. Entre los indicadores ecológicos se incluyen niveles de utilización de agroquímicos, uso de energía y niveles de biodiversidad. Los indicadores éticos incluyen la protección y el mejoramiento del suelo, el suministro de alimentos sanos, y el mejoramiento del ambiente y del hábitat natural. Los indicadores socioeconómicos están directamente relacionados con el análisis del bienestar de las comunidades, e incluyen el mejoramiento de la salud o el bienestar de los residentes rurales, el mejoramiento de la economía de los establecimientos y de los ingresos, la revitalización de las áreas rurales, el incremento del número de establecimientos, y la disminución de la complejidad de los sistemas de agroindustriales. De esta manera, los indicadores propuestos ilustran las interrelaciones que existen entre las tres dimensiones en los sistemas agrícolas y también entre los sistemas agrícolas y las comunidades rurales (Ramsey, 1995).

En cuanto a la metodología para construir los indicadores, existe una fuerte coincidencia en la necesidad de emplear métodos participativos que incluyan a los propios actores en la definición de los mismos, de manera tal que se adapten a las condiciones específicas de cada localidad. Algunos métodos participativos de identificación de indicadores incluyen: diagnósticos participativos, historias orales de miembros de la comunidad, calendarios de uso del tiempo, mapeos y dibujos de los miembros de la comunidad, y visitas a productores. Al igual que los otros tipos de indicadores de sustentabilidad, los indicadores sociales (incluyendo indicadores políticos y económicos) pueden ser cuantitativos o cualitativos. Los indicadores cuantitativos permiten realizar un seguimiento a través del tiempo de determinadas características. Los indicadores cualitativos brindan información perceptual, actitudinal y motivacional que no puede obtenerse por métodos cuantitativos. Los indicadores sociales, como los otros indicadores, deben, además, reunir las características de ser fácilmente comprensibles y medibles, replicables, técnicamente aceptables, sensibles a los cambios, y especialmente en este caso, reflejar los valores culturales de la comunidad local (Bellows, 1994).

6. Conclusiones

Este capítulo tuvo como propósito analizar de qué manera las dimensiones sociales contribuyen a la sustentabilidad de la agricultura. Partiendo de un análisis de los efectos producidos en los agroecosistemas por la aplicación del modelo de la Revolución Verde, examinamos diferentes definiciones y enfoques del modelo de agricultura sustentable, hacien-

do hincapié en la necesidad desde nuestro punto de vista de adoptar un enfoque amplio que integre las tres dimensiones principales: ecológico-productiva, económica y social.

El estudio de las condiciones que hacen a la viabilidad y la permanencia las comunidades rurales ha sido uno de los temas centrales en el análisis de la sustentabilidad desde el punto de vista social. La situación de crisis económica que muchos países enfrentan actualmente pone en riesgo la continuidad de los sistemas de producción agrícola. Sin embargo, los efectos a nivel de cada localidad agrícola serán menores en la medida que existan determinadas características que contribuyan a otorgar mayor capacidad de resiliencia a estas comunidades. Entre estas características se encuentra el predominio de establecimientos familiares, que ha sido asociado con sistemas más sustentables y permanentes. La existencia de diversos recursos-entendidos como formas de capital-son esenciales para una mayor resiliencia de las comunidades. El capital social, visto como las interconexiones que existen entre los miembros de las mismas y con agentes externos, contribuye al fortalecimiento de las comunidades y a la potencialización de las otras formas de capital.

En los últimos años, instituciones pertenecientes fundamentalmente al ámbito internacional pero también de algunos países de la región (i.e., México, Canadá y Estados Unidos) han desarrollado metodologías para la identificación y construcción de indicadores de sustentabilidad. Si bien existen diferentes aproximaciones en cuanto a los métodos propuestos, y diferencias en los énfasis otorgados a las dimensiones productivas, económicas y sociales, existe consenso en la necesidad de tener en cuenta cada una de ellas en forma específica. Asimismo, la adaptación de estos indicadores a la cultura y sistema de valores local cobra especial importancia a la hora de definir los indicadores sociales que darán cuenta del grado de sustentabilidad en que se encuentra un agroecosistema.

Allen P & C Sachs (1993) Sustainable agriculture in the United States: Engagements, silences, and possibilities for transformation. En: Food for the future: Conditions and contradictions of sustainability. P. Allen, (Ed.). John Wiley and Sons, New York. pp. 139-167.

Allen P, D Van Dusen, J Lundy & S Gliessman (1991) Integrating social, environmental, and economic issues in sustainable agriculture. American Journal of Alternative Agriculture 6(1): 34-39.

Altieri M (1993) Sustainability and the rural poor: A Latin American perspective. En: Food for the future: Conditions and contradictions of sustainability. P. Allen, (Ed.) John Wiley and Sons, New York. pp. 193-209.

Altieri M (1994) Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. Agricultura Técnica (Chile) 54 (4): 371-386.

Altieri M, A Yurjevic, JM Von der Weid & J Sánchez (1994) Assessing the sustainability of NGO-led agroecological interventions in Latin America. En: Proceedings of the Indicators of Sustainability Conference and Workshop. August 1- 5. SANREM CRSP. Barbara Bellows, (Ed) Washington State University. pp. 121-130.

Astier M & O Masera (1997) Metodología para la evaluación de sistemas de manejo incorporando indicadores de sustentabilidad. Documento de trabajo Nº 17. GIRA, México. 66 pp.

Bellows B (1994) Principles and practices for implementing participatory and intersectoral assessment of indicators of sustainability: Outputs from the workshop sessions. En: Proceedings of the Indicators of Sustainability Conference and Workshop. August 1- 5. SANREM CRSP. Barbara Bellows, (Ed). Washington State University. pp. 243-268.

Berry W (1987) A defense of the family farm. In: Is there a moral obligation to save the family farm? Gary Comstock (Ed.) Ames IA. Iowa State University Press. 347-360.

Beus CE & RE Dunlap (1990) Conventional versus alternative agriculture: The paradigmatic roots of the debate. Rural Sociology 55(4): 590-616.

Bryden J (1994) Some preliminary perspectives on sustainable development. En: Towards sustainable rural communities. The Guelph seminar series. University School of Rural Planning and Development. Guelph, Canada. pp. 41-50

Conway R & E Barbier (1990) After the green revolution: Sustainable agriculture for development. Earthscan, London.

Dumansky J (1994) Development and application of a framework for evaluation of sustainable land management (FESLM). En: Proceedings of the Indicators of Sustainability Conference and Workshop. August 1- 5. SANREM CRSP. Barbara Bellows, (Ed). Washington State University. pp. 43-49.

Dunlap RE, CE Beus, RE Howell & J Waud (1992) What is sustainable agriculture? An empirical examination of faculty and farming definitions. Journal of Sustainable Agriculture 3: 5-39.

Ehlers E (1994) Agricultura sustentável: Origens e perspectivas de un novo paradigma. Livros da Terra, Sao Paulo.

Flora CB (1995) Social capital and sustainability: Agriculture and communities in the Great Plains and Corn Belt. (www.worldbank.org/poverty/scapital/sctalk).

Flora CB & J Flora (1999) Measuring and interpreting social capital on the community level: The difference and similarities between social capital and entrepreneurial social infrastructure. (www.worldbank.org/poverty/scapital/sctalk).

Flora CB, M Kroma & A Meares (1994) Indicators of sustainability: Community and gender. En: Proceedings of the Indicators of Sustainability Conference and Workshop. August 1- 5. SANREM CRSP. Barbara Bellows, (Ed). Washington State University. pp. 81-94.

Gertler M (1994) Rural communities and the challenge of sustainability. Towards sustainable rural communities. The Guelph seminar series. University School of Rural Planning and Development. Guelph, Canadá. pp. 69-78.

Hecht S (1997) La evolución del pensamiento agroecológico. En: Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable. M. Altieri, (Ed). CIED, SRPB, Lima. pp. 11-25.

IICA (1999) El desarrollo rural sostenible en el marco de una nueva lectura de la ruralidad "Nueva Ruralidad". Dirección de Desarrollo Rural Sostenible. (www.iica-net.org/rural/NRejecutivo(29-7)).

Kleinschmidt L, D Ralson & N Thompson (1994) Evaluation of the relative impact of conventional and sustainable

systems on rural communities. Walthill, NBG, centre for rural affairs.

Kline E (1994) Seeking sustainability results: Choosing and applying indicators of communities. En: Proceedings of the Indicators of Sustainability Conference and Workshop. August 1-5. SANREM CRSP. Barbara Bellows, (Ed). Washington State University. pp. 51- 59.

Lacy W (1993) Can agricultural colleges meet the needs of sustainable agriculture? American Journal of Sustainable Agriculture 8 (1): 40-45.

Lasley P, E Hoiberg & G Bultena (1993) Is sustainable agriculture an elixir for rural communities? American Journal of Alternative Agriculture 8 (3): 133-139.

Lockeretz W (1988) Open questions in sustainable agriculture. American Journal of Sustainable Agriculture 3(4): 174-181.

Müller S (1994) Development of a framework for the derivation of sustainability indicators and application to the framework in the Río Reventado Watershed in Costa Rica. En: Proceedings of the Indicators of Sustainability Conference and Workshop. August 1-5. SANREM CRSP. Barbara Bellows, (Ed). Washington State University. pp. 15- 42.

Neher D (1992) Ecological sustainability in agricultural systems: Definition and measurement. Journal of Sustainable Agriculture 3(2): 51-61

Putnam RD (1993) Making democracy work: civic traditions in modern Italy. Princeton, NJ, Princeton University Press.

Ramsey D (1995) Rural community well-being: A review of three research paradigms. Discussion paper Nº 28. Faculty of Environmental Sciences, University of Guelph. 25 pp.

Redclift M (1993) Sustainable development: Concepts, contradictions and conflicts. En: Food for the future: Conditions and contradictions of sustainability. P. Allen, (Ed). John Wiley & Sons, New York.

Rosset P & M Altieri (1998) Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. (www.cnr.berkeley.edu/~agroeco3/input.html)

Rosset P (1998) Hacia una alternativa agroecológica para el campesinado latinoamericano. En: Consulta Regional: El futuro de la investigación y el desarrollo de la agricultura campesina en la América Latina del siglo XXI. M. Altieri & D. Vásquez, Eds. CGIAR-NGO Committee, Berkeley, CA. pp. 7-16.

Staatz J M & CK Eicher (1984) Agricultural development ideas in historical perspective. En: Agricultural development in the Third World. CK Eicher & JM Staatz, (Eds). John Hopkins University Press, Baltimore.

Thompson D & S Thompson (1994) Farming systems and the viability of Rural communities. In Thompson on-farm research with Wallace Institute. Greenbelt, MD: Henry Wallace Institute for alternative agriculture: 9-1-9-3.

Ticsay-Ruscoe M, R Alvarez, R Banaynal, G Buenavista, R Serrano, A Sumbalan & T Pajaro (1994) Search for indicators of sustainability for Philipinne Uplands: Focus on Manupali Watershed. En: Proceedings of the Indicators of Sustainability Conference and Workshop. August 1-5. SANREM CRSP. Barbara Bellows, (Ed). Washington State University. pp. 155-165.

Teubal M (1998) Globalización y sus efectos sobre las sociedades rurales de América Latina. En: Globalización, crisis y desarrollo rural en América Latina: Memoria de sesiones plenarias. Texcoco, Universidad Autónoma de Chapingo, Colegio de Postgraduados. 27- 57.

Von der Weid JM (1994) Agroecología y agricultura sustentable. Agroecología y Desarrollo 7: 9-14.

Wall E, G Ferrazzi & F Schryer (1998) Getting the goods on social capital. Rural Sociology 63(2): 300-322.

World Commission on Environment and Development WCED (1987) Our common future. Oxford University Press, London.

Wismer S (1999) From the ground-up: Quality of life indicators and sustainable community development. Feminist Economics 5 (2): 109-114.

Yurjevic A (1997) Prefacio. En: Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. CIED, Lima. pp. 11-25.

Crecimiento económico y límites ambientales

Xavier Simón Fernández

1. Introducción

En el presente capítulo se pretenden introducir elementos que permitan ampliar la discusión sobre el estado actual de nuestra economía y, por lo tanto, de los modelos agrarios vigentes. La propuesta que se realiza parte de la economía ecológica y fija, como objetivo social necesario, para el logro de un desarrollo y, por lo tanto, una agricultura sustentable, la urgente transformación del modelo económico industrialista dominante a lo largo y ancho del planeta. Efectivamente, la reconfiguración estructural del vigente sistema económico es una necesidad social urgente si queremos alcanzar mayores niveles de justicia social y mejorar la distribución de los beneficios y costes asociados con los procesos de desarrollo.

La actual configuración institucional del sistema económico presenta importantes límites en lo que se refiere a las posibilidades de que los países pobres dejen serlo y a las oportunidades de poner en marcha sistemas de producción y consumo que garanticen el equilibrio ecológico. Esos límites son consecuencia de la naturaleza de las instituciones que conforman el sistema económico global y que se reproducen dentro de cada Estado: "libertad económica" en el tiempo del neoliberalismo que significa permitir que el "mercado libre" asigne, distribuya y establezca el tamaño del producto; "libertad política" que significa igualdad de derechos para todos los ciudadanos ya que está contemplada la posibilidad de que "cualquiera" y "todos" lleguemos a lo más alto de la escala social. Pero la libertad económica y la libertad política, tal y como son concretadas dentro de las sociedades burguesas, producen monstruos: el mercado solamente da de comer, presta atención sanitaria o educa a quienes respaldan esas necesidades con unidades monetarias, aunque el estado del bienestar en espacios concretos y durante períodos históricos tenga amortiguado los peligros de esa situación. El mercado no valora el medio ambiente a no ser que sea apropiado directamente por los seres humanos; la igualdad de derechos, solamente dentro de cada Estado y no al nivel internacional, se diluye en ambas escalas en una desigualdad de oportunidades, mucho más acentuada si consideramos a las generaciones futuras.

Este capítulo pretende realizar un pequeño aporte sobre el papel que la Naturaleza cumple y debería cumplir en ese proceso de reformulación institucional del actual sistema económico. Esta tarea, como todas aquellas en las que sean partícipes colectivos sociales, deben enfrentarse con trabajo conjunto, sin prejuicios previos y sin exclusiones innecesarias, para construir ese otro sistema demandado para satisfacer la necesidad de alcanzar igualitarios y dignos niveles de vida sin generar exclusión social y crear sistemas tecnológicos que no aumenten la carga entrópica a la que se someten los sistemas ambientales. En este aporte se encuentran algunos de los elementos necesarios para introducir en el debate. Que este comience ya!

El trabajo está estructurado en varios apartados. En el primero se establecen las bases de la relación entre economía y naturaleza. Como esa relación ha cambiado a lo largo de la historia de la humanidad, en el segundo, la analizo en dos tipos de economías: las economías tradicionales y las economías del capital. Ya que estas últimas son las dominantes en la actualidad y el crecimiento económico una de sus características más sobresalientes, en el tercer apartado planteo la relación entre crecimiento económico y deterioro socioambiental para, finalmente, discutir sobre las posibilidades de extender sus patrones productivos y de consumo al conjunto da humanidad.

2. Naturaleza y economía

La relación entre los sistemas económicos y los sistemas naturales puede ser analizada desde dos perspectivas, con resultados opuestos. (Tabla 1)

Podemos, en primer lugar, analizarla entre la naturaleza y el sistema económico, desde el punto de vista de la economía convencional. Al hacer esto concluimos que, para la economía vigente, los bienes y servicios procedentes de los sistemas naturales no aparecen como significativos hasta que son valorados, apropiados e incorporados en los procesos de producción y consumo. Su corta vida económica comienza al ser introducidos en la producción y finaliza después de ser consumidos. Y esto solamente le ocurre a un subconjunto reducido de los elementos y procesos ambientales: el oxígeno, la biodiversidad, el ciclo hidrológico y los procesos energéticos y de reciclaje de nutrientes, y muchos otros elementos y procesos, no son considerados en ningún modo. Su vida económica no existe, la economía no los reconoce dentro de las funciones de producción y consumo.

En segundo lugar, podemos analizar la relación entre sistemas ambientales y sistemas económicos desde la perspectiva de la ecología. La conclusión a la que llegamos es muy diferente: los sistemas económicos son subsistemas que intercambian energía, materiales e información con otros subsistemas.

Tabla 1

Algunas diferencias entre enfoques económicos

Fuente: Elaboración propia desde Naredo (1987)

Aspectos	Enfoque convencional	Enfoque ecointegrador
Objeto de estudio	Se ocupa de aquellos objetos que son intercambiables, valorables y reproductibles	Se ocupa de los materiales y energía relacionados con el territorio de referencia
Relación con otras disciplinas	No necesita de otras disciplinas	Carácter transdisciplinario
Clasificación de los objetos económicos	Mediante sus valores de cambio	A través de su funcionalidad para determinados usos
Relación entre lo físico y lo monetario	Las variables monetarias condicionan todo lo demás	Las dotaciones de recursos y sus propiedades son la variable independiente
Inserción territorial	Demarcación aduanera	Debe existir un territorio de referencia y utilizarse información cartográfica
Flujos y stocks	Indiferenciación: la Contabilidad Nacional trata siempre con flujos	Diferenciación entre stocks de recursos disponibles y flujos de materiales y energía
Naturaleza del sistema económico	Cerrado: todo nace y se extingue dentro del sistema económico	Abierto: los objetos pueden existir antes de la producción y no desaparecen con el consumo
Estabilidad ecológica y equilibrio financiero	La producción y el consumo son equivalentes. Siempre se produce un beneficio	El equilibrio económico no implica la estabilidad ecológica. Esta exige la reconversión de la gestión de recursos

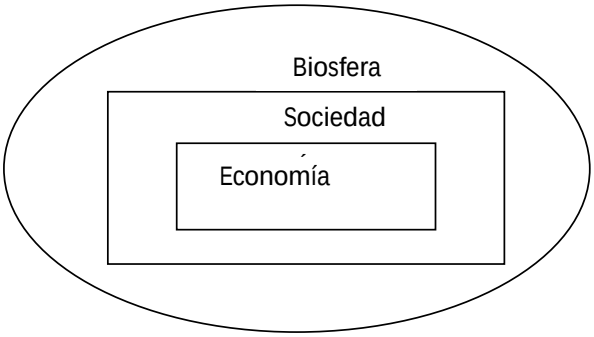
No resulta posible unificar estos dos resultados, al ser producto de visiones muy opuestas. Desde la primera perspectiva, a lo máximo que se llega es a intentar incluir bajo los principios que rigen dentro del sistema económico aquella parte de los sistemas ambientales que aún no está valorizada y apropiada. Es decir, la economía científica, desde el paradigma neoclásico, exige la monetarización y la mercantilización de los diferentes elementos del sistema natural como requisito previo para su consideración en la posible estrategia de resolución del conjunto de problemas socioambientales a los que nos enfrentamos hoy. Dicho de otra forma, jerárquicamente el sistema económico estaría por encima del sistema natural. Solamente bajo el paraguas de la ciencia económica convencional es posible encontrar solución a nuestros problemas. A esta forma de entender la relación entre economía y naturaleza responde lo que en la tabla 1 se denomina enfoque convencional.

En cambio, bajo la segunda perspectiva, bajo lo que denominamos enfoque ecointegrador, el sistema económico es entendido como un subsistema de un sistema mayor

del cual forma parte. En primer lugar, su estructura es el resultado de una configuración institucional determinada. Podríamos pensar que existe una total coincidencia entre los elementos institucionales y los económicos, de tal forma que aquellas variables se reducen enteramente a estas últimas. Esto es perfectamente lógico aunque no socialmente deseable. En segundo lugar, el sistema económico rinde cuentas al sistema ambiental en el cual se desarrolla. La relación que se establece entre economía, sociedad y naturaleza aparece reflejada en la Figura 1.

Figura 1

La ubicación del sistema económico



Podríamos, ilusoriamente, pensar que esta relación jerárquica no existe, tal y como lo hace la economía convencional, pero de hecho se da en, por lo menos, dos sentidos.

A. La naturaleza abierta del sistema económico

El primero se refiere a la naturaleza abierta del sistema económico; esto es, los objetos económicos existen, en virtud de su existencia física, antes de entrar a formar parte del sistema económico como mercancías con valor de cambio positivo, y siguen existiendo después de que sean consumidos, en la forma de residuos. "Y si los sistemas económicos son abiertos, las decisiones económicas incontroladas, basadas en el cálculo de costes y rendimientos empresariales, son básicamente incompatibles con el mantenimiento de los estados dinámicos de equilibrio económico y ecológico, por lo que se hace necesario reformular y redefinir no solamente los conceptos de costes y ganancia sino, sobre todo, los criterios de eficiencia y optimalidad económica de tal forma que incluyan el hecho de que lo que puede ser eficaz y óptimo en el caso de un sistema de producción cerrado, puede resultar ineficaz y para nada óptimo y, en el largo plazo, acaso destructivo desde el punto de vista social y global debido al descuidado efecto acumulativo de las interrelaciones entre los sistemas abiertos" (Kapp, 1978). Podemos decir, por otra parte, que aunque se alcanzase ese sueño de los economistas neoclásicos de estable-

cer una completa correspondencia entre el mundo económico y el mundo físico, no por eso tendríamos encontrado soluciones satisfactorias a los problemas que originalmente suscitaba la gestión del medio ambiente, si por solución satisfactoria se entiende aquella que, al menos, garantice la continuidad de la especie humana (Naredo, 1987).

B. La naturaleza entrópica del sistema económico

La relación jerárquica de los sistemas ambientales y de los sistemas económicos está substantivada en un segundo elemento: la naturaleza entrópica del proceso económico. La influencia que la Ley de la Entropía tiene sobre los sistemas económicos y sobre la vida en general, no puede ser negada ni tampoco permite soñar con la posibilidad de vencer sus implicaciones. ¿Cómo no va imponer límites a la actividad económica una Ley cuyo funcionamiento es el responsable de que un barril de petróleo solamente pueda ser quemado una vez? En toda transformación de energía y materiales existe una pérdida de calidad: el resultado final es que en todo sistema cerrado, como la Tierra, el desorden, la entropía, crece irremediablemente mientras que en sistemas abiertos, como el económico, solamente es posible eludir su crecimiento generando desorden en otros sistemas. La naturaleza entrópica del proceso económico nos permite afirmar: primero, el proceso económico transforma valiosos recursos materiales y energéticos, de baja entropía, en desperdicios sin valor, alta entropía, por lo que la justificación del proceso productivo no puede ser material sino "el disfrute de la vida" (Georgescu-Roegen, 1975; 1980); y, segundo, los procesos de producción y consumo solamente continuarán en la medida en que seamos capaces de alimentarlos de baja entropía. Es decir, el factor limitante en última instancia no es la disponibilidad de capital manufacturado sino la existencia de baja entropía o capital natural.

De la discusión anterior alrededor de la naturaleza abierta del sistema económico y el carácter entrópico de su proceso productivo no podemos extraer otra lectura que la siguiente: si queremos mantener indefinidamente los sistemas de producción y consumo que sirven a propósitos humanos, su estructuración debe incorporar como variables independientes las restricciones impuestas por los sistemas ambientales.

El actual sistema económico industrialista está lejos de recoger estas restricciones. Más bien se caracteriza por considerar a los elementos y procesos procedentes del medio ambiente como algo dado, cuya función es aguardar a su valorización por el mercado. De esta forma, se viene haciendo uso de las funciones ambientales según las necesidades de reproducción del capital que históricamente predomine en los mercados. En consecuencia, las restricciones que imponen los sistemas ambientales son obviadas: será la disponibilidad de capital monetario la que imponga límites, nunca el capital natural.

Sin embargo, los ecosistemas participan en los procesos de producción y consumo facilitándolos y, en última instancia, limitándolos. Como suministradores de insumos que se incorporan en los procesos de producción, como bienes de consumo final (energía, materiales, productos agrarios y pesqueros, etc.) así como depósito en el cual

son almacenados todos los subproductos sólidos (papel, latas, plásticos, vidrio, etc.), líquidos (aguas, productos químicos, etc.) y gaseosos (CO_2, óxido de azufre, CFCs, etc.), los sistemas ambientales permiten que se realicen los actuales procesos de producción y consumo. Pero puede ocurrir, y está sucediendo ya, que hagamos un uso inadecuado de los sistemas ambientales, en el sentido de no tenerlos en cuenta en ningún modo, ya que son excesivamente abundantes, o de tenerlos en cuenta pero no de acuerdo con las leyes y principios ambientales que los regulan sino exclusivamente mediante sistemas de mercado. Así, se convierten en un límite absoluto al mantenimiento a largo plazo de los actuales procesos de producción y consumo: al extraer biomasa pesquera a ritmos superiores a los que se reproduce, al expulsar residuos a tasas superiores a las que pueden ser metabolizados por la naturaleza y al introducir en los sistemas ambientales residuos que mantienen su carga contaminante durante prolongados periodos de tiempo, estamos minando los pilares naturales del sistema económico y no seremos capaces de mantener de forma indefinida tales sistemas de apropiación de recursos.

Ambas entidades, los ecosistemas y los sistemas económicos, no se pueden entender por separado. Por ejemplo, no podemos razonar correctamente sobre cómo incrementar la productividad de los sistemas agrarios mediante tecnologías super eficientes considerando las condiciones ambientales en las que se desarrolla esa tecnología como una simple superficie sobre la que poner en práctica el sistema tecnológico considerado eficiente. Además, al no considerar la base natural localmente disponible, ni las percepciones culturales de la comunidad destinataria de la tecnología, ni sus particulares y locales problemas y oportunidades, estaremos propiciando situaciones de mayor riesgo de fracaso socioambiental en aquellas tentativas de incrementar la productividad de la agricultura.

En consecuencia, los sistemas ambientales no se pueden entender sin tener en cuenta los sistemas socioinstitucionales, que fijan el propósito de los procesos de producción y consumo, ni estos se pueden comprender enteramente sin la presencia de los ineludibles condicionantes ambientales. Existe, por tanto, un proceso de coevolución entre los sistemas sociales y los ambientales. Decir esto no implica afirmar nada nuevo ni nada substantivo en relación con los límites ambientales a los que se enfrenta la sociedad actual. Todas las sociedades, a lo largo de la historia de la humanidad, estuvieron en una situación semejante a esta: los procesos sociales modifican las condiciones ambientales, que después de ser transformadas, y con mayor o menor consumo de tiempo, imponen nuevas condiciones que harán cambiar la configuración de los sistemas sociales, y estos, a su vez, generarán nuevos impactos en los sistemas ambientales, y así sucesivamente.

Históricamente, el proceso de coevolución se desarrolló dentro de límites espaciales y temporales próximos. Esto es, los sistemas socioeconómicos no generaban efectos irreversibles que superasen sus barreras, ni las geográficas ni las generacionales. Sin embargo, esto cambia de forma significativa en los últimos doscientos cincuenta años, y de forma exponencial en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial.

3. De la economía tradicional a la economía del capital

En este apartado se pretende, para entender mejor los límites que los sistemas ambientales imponen de forma irremediable a los sistemas económicos, tratar los cambios acontecidos en las economías reales, desde una economía casi natural bastante estable a una economía industrializada y progresivamente creciente, desde las economías locales altamente diversificadas y "óptimamente" diferentes hasta la economía global homogéneamente mercantilizada. La discusión se centrará en los cambios producidos en el sistema energético y material, utilizando para la comparación dos momentos históricos determinados, que tienen una datación específica según la dinámica histórica prevalente en cada sistema social: las sociedades rurales conformadas por una mayoría campesina, junto a artesanos e incipientes aglomeraciones urbanas, que paso a denominar economía tradicional, y las sociedades altamente artificializadas mediante sistemas tecnológicos que propician el crecimiento de las actividades de servicios y de producción de bienes manufacturados en contextos ampliamente urbanizados, a la cual haré referencia como economía del capital.

Los sistemas energéticos y materiales de la economía tradicional y de la economía del capital son muy diferentes, en sus elementos componentes, en las interrelaciones que se establecen entre ellos y en sus efectos a través del espacio y del tiempo.

3.1. Economía tradicional

En una economía tradicional se utilizan mayoritariamente fuentes energéticas y materiales de carácter renovable y localmente disponibles. Por una parte, los procesos de producción y consumo vigentes son estructurados para que aprovechen la capacidad productiva de la tierra y del agua, la fuerza del viento y del mar en función del capital humano y de la tecnología existente. Por otra parte, los subsistemas sociales interaccionan con los sistemas ecológicos básicos generando crecimiento entrópico pero sin causar su deterioro irreversible.

Por otra parte, al estar la economía tradicional muy alejada de los mercados globales, tiene vocación de servicio a pequeños mercados locales, por lo que su tamaño es relativamente reducido. Además, el comercio de energía se ve dificultado cuando las fuentes originarias de las cuales proceden los flujos energéticos y materiales son renovables (en términos relativos, es mucho más fácil comerciar con combustibles fósiles que con el flujo solar). En las economías tradicionales existe el comercio pero no de fuentes energéticas primarias sino de los productos obtenidos a través de los procesos productivos en los que participan aquellas fuentes energéticas: la producción agrícola, ganadera y forestal, la minería principalmente no energética así como la producción artesanal.

Esta configuración estructural concede al sistema energético de la economía tradicional, y por extensión a esta, importantes virtudes desde el punto de vista de sus efectos a través del tiempo y del espacio. Los perjuicios socioambientales que se trasladan a través del espacio son bastante limitados. Es decir, los costes que una sociedad tradicional del Norte tras-

lada a una sociedad coetánea del Sur no son percibidos de ninguna forma. En un ámbito más limitado existen efectos externos que ultrapasan los limites de esos sistemas y reducen el bienestar de una comunidad tercera (la pesca de especies migratorias en las zonas próximas a la desembocadura de los ríos reduce las capturas en el curso alto), así como efectos de la misma procedencia que incrementan el bienestar en terceras comunidades (cultivos en altitud que se realizan en terrazas evitando que la erosión afecte a campesinos tierra abajo).

En cuanto a los efectos producidos a través del tiempo, de generación en generación, es posible legar capital manufacturado y capital natural: el capital manufacturado puede producir durante varias generaciones (molinos, barcos, etc.) si reparamos su depreciación; el capital natural (la capacidad de la tierra para producir alimentos y fibras, la de los mares para producir biomasa pesquera, la de los bosques para absorber CO_2 etc.) también puede ser legado a las generaciones posteriores manteniendo intacta su capacidad de producir flujos de bienes y servicios.

Pues bien, y aquí está su principal ventaja desde el particular punto de vista que enfocamos la cuestión, la economía tradicional lega, de generación en generación, capital natural que no hipoteca futuros niveles y líneas de desarrollo. Como ejemplo se puede citar el caso del Río Minho, principal río gallego que en su tramo final delimita a Galicia de Portugal, y las poblaciones de sus riberas que coevolucionaron durante miles de años sin que las generaciones futuras tuviesen que soportar cambios irreversibles en sus condiciones ambientales. En las economías tradicionales, sus aguas fueron utilizadas para pescar, para regar y aprovechar la fertilidad posterior a las fuertes crecidas del invierno, para aprovechar la fuerza de su curso de agua produciendo trabajo, para su disfrute estético, sin que perdiese irreversiblemente esas funciones.

Sin embargo, las antiguas economías tradicionales y sus sistemas energéticos, por otra parte, no permitían disfrutar de los "bienes de consumo duradero" y además coexistían con penuria económica extrema en condiciones ambientales adversas y recurrentes que empujaban a la intensificación del factor productivo relativamente más abundante, la fuerza de trabajo, sobre el más limitante, la tierra disponible. En el mejor de los casos, las sociedades tradicionales conseguían un sustento de subsistencia y en el peor de los escenarios el hambre y la muerte prematura (las altas tasas de mortandad infantil son una de sus características) o la emigración a tierras alejadas buscando recursos no disponibles localmente.

En resumen, las virtudes ambientales de lo que llamo economías tradicionales quedan asociadas con situaciones sociales poco deseadas para alcanzar un destino humano superior de formación espiritual y satisfacción material. Veamos lo que sucede en las sociedades del capital.

3.2. Economía de Capital

Los sistemas energéticos y materiales de las sociedades del capital se fundamentan en uso de fuentes no renovables y, en general, no disponibles localmente. Los procesos

productivos y de consumo se estructuran según las disponibilidades de energía y materiales propias o llegadas a través del comercio. Los stocks de reservas terrestres de energía y materiales, fundamentalmente combustibles fósiles y minerales no energéticos, son la base natural de las sociedades del capital. Al existir en cantidades limitadas, cada unidad consumida supone la reducción en la misma cuantía de la cantidad restante. Esto implica que las generaciones futuras dispondrán de menores reservas de petróleo, gas natural y carbón así como menos reservas de plomo, aluminio, zinc, etc.

El papel central que desarrollan los stocks de recursos terrestres y la cantidad y tipo de residuos generados por su consumo provocan perturbaciones que modifican la naturaleza de aquel proceso coevolutivo.

Por una parte, los pobres de la sociedad actual, ubicados mayoritariamente en las energética y materialmente ricas sociedades económicamente subdesarrolladas, no disfrutan de los beneficios del modelo industrializador imperante y soportan en igual medida la contaminación producida por el abusivo consumo de esas fuentes energéticas en los países pobres energéticamente pero ricos económicamente. Es decir, los sistemas sociales deben hacer frente en su conjunto a los problemas ambientales derivados del consumo excesivo de una parte reducida de la población mundial.

Por otra parte, los modelos energéticos y de materiales vigentes en las sociedades del capital producen residuos que permanecen como activos contaminadores durante miles de años (residuos nucleares, organismos modificados genéticamente, etc.). Es decir, que a diferencia de la economía tradicional, la economía del capital, por primera vez en la historia de la humanidad, tiene la capacidad de trasladar al futuro efectos ambientales irreversibles.

Junto a estas diferencias, la escala del sistema energético también cambió de forma significativa. En términos de fuentes energéticas primarias, hoy existe un mercado internacional de la energía cuya configuración reproduce, una vez más, las necesidades del capital transnacional. De que otra manera, si no, se puede entender el hecho de que lo recaudado por los estados europeos en concepto de impuestos sobre el consumo de combustibles fósiles supere lo que cobra en origen el productor, o mejor dicho, el legítimo propietario del combustible que permite su extracción (Galeano, 1993).

A veces, podríamos estar tentados a pensar que la desestructuración del stock de recursos terrestres, la generación de los problemas ambientales que se sufren en la actualidad y el traslado al futuro de pérdidas ambientales irreversibles serían el precio que debemos pagar por el nivel de vida material y acceso a los servicios de los cuales disponemos hoy. Este tipo de discursos, comunes en boca de los ricos inconscientes, ricos desde una perspectiva mundial, se olvidan de las enormes desigualdades espaciales y temporales vinculadas con las sociedades del capital. Es decir, todas las sociedades occidentales conforman una porción muy reducida en número, el 18% da población mundial, que disfruta de un alto nivel de vida material en base al uso relativamente abusivo de las funciones de los ecosistemas. En las sociedades del capital, como las actuales, provocamos deterioro ambiental con carácter irreversible y solamente una porción reducida de

la población se beneficia por tal situación. Pero todo esto queda oculto detrás del omnipresente objetivo del crecimiento económico.

4. Crecimiento económico y deterioro socioambiental

4.1. El valor relativo de los indicadores macroeconómicos

El crecimiento, ese objetivo tan deseado, no se consigue a precio cero. Esto es, los sistemas ambientales y los sistemas sociales, o por lo menos, partes de ambos, sufren pérdidas, se deterioran y/o desaparecen. Esos efectos adversos sobre ambos sistemas son, desde el punto de vista de la economía ecológica, síntomas que demuestran la inviabilidad del modelo económico industrialista para mantenerse de forma indefinida y para garantizar a las generaciones presentes un acceso equitativo a sus resultados. Sin embargo, la economía convencional no reconoce los problemas ambientales y sociales asociados con los procesos de crecimiento económico. Este sigue siendo el objetivo supremo de toda iniciativa económica y las macromagnitudes (Producto Interno Bruto (PIB) y Renta Nacional (RN)) su reflejo. Veamos, a continuación, algunos de los argumentos utilizados por la economía ecológica para rechazar la optimista visión acerca de que más crecimiento económico, medido mediante el PIB, es la estrategia idónea para hacer frente a los actuales problemas sociales y ambientales.

En primer lugar, desde el punto de vista de la producción, las macromagnitudes consideran la apropiación de capital natural como un simple consumo intermedio, de la misma forma que los insumos llegados de otras unidades productivas. De esta forma, se incentiva la puesta en marcha de iniciativas que usan de forma dispendiosa el capital natural. Es decir, la responsabilidad productiva del capital natural en la obtención de una oferta determinada no está reconocida: es mucho más importante la productividad del trabajo y la del capital manufacturado. Más crecimiento económico supone, de esta forma, destrucción de capital natural. Esto es, reducción de oportunidades de desarrollo en el presente y en el futuro.

Por otra parte, en la economía convencional existe la creencia de que el bienestar económico, medido según los índices de la renta nacional (RN), y el bienestar total, asociado con valoraciones personales y sociales así como con valores culturales, se mueven en el mismo sentido. Esto es, el crecimiento económico medido a través de la RN contribuye positivamente a la mejora del bienestar global de la sociedad. Contra esta afirmación caben varios argumentos.

En primer lugar, el agregado macroeconómico final es el resultado de sumar el valor de la producción de actividades que contribuyen positivamente a la generación de valor, desde el punto de vista de la economía convencional, tales como producción de alimentos, ropa, automóviles, libros, etc., con actividades que simplemente incrementan el

coste de producción y aparecen reflejadas en los precios finales, tales como campañas de marketing, ingentes cantidades de servicios improductivos tales como ejércitos, los gastos originados por la congestión del tráfico, etc.. Un incremento del "valor" de estas producciones incrementará el bienestar económico pero no el bienestar global.

En segundo lugar, el deterioro ambiental causado por las actividades económicas no está valorado, por lo que las pérdidas que sufre el medio ambiente no se introducen en las medidas de bienestar. Aunque esta generación y varias más sean capaces de desarrollarse sin sufrir graves presiones ambientales, es cierto que otras generaciones posteriores tendrán que hacer frente a esos costes, con lo cual su bienestar se verá reducido. La teoría económica considera que esto no es un problema pues las generaciones futuras serán más ricas, como consecuencia precisamente del crecimiento económico y de la acumulación de capital manufacturado, y por lo tanto para ellas será relativamente menos costoso de lo que sería para nosotros ahora hacer frente a esos costes.

¿Hasta que punto podemos estar de acuerdo con esta afirmación? Tal y como apuntamos en el anterior apartado, en todo sistema cerrado la entropía crece de forma irreversible y los procesos de producción y consumo solamente funcionarán, en el largo plazo, si somos capaces de incorporar baja entropía para producir y consumir nuevos elementos que sirvan para los fines humanos. Mantener conductas muy entrópicas como las que supone desestructurar stocks terrestres de energía y materiales a ritmos excesivos impulsa a su agotamiento por lo que las generaciones futuras dispondrán de fuentes energéticas y materiales mucho más dispersas y costosas en términos entrópicos. Por otra parte, las generaciones futuras heredarán un medio ambiente en el que tendremos introducido una gran cantidad de sustancias que conforman la ya conocida sopa tóxica (que contiene, en media, más de cien mil componentes) y, desde los últimos años, también organismos genéticamente modificados que no son producto de aquella coevolución por lo que no se encuentran integrados en las diferentes cadenas vitales. La casi total unanimidad existente en el campo de la economía sobre la facilidad relativa de las futuras generaciones para lidiar con esos problemas debe dejar lugar al debate de las diferentes posiciones.

Y ya no únicamente por los efectos sobre las generaciones futuras, si no también, y fundamentalmente, por la parte de la generación presente que vive en el Último Mundo y que asiste desprovista de recursos en sus bolsillos al continuo despilfarro que emana de las actividades económicas desarrolladas por la otra parte de la generación presente que vive en la opulencia relativa del Primer Mundo Rico.

La correlación positiva entre bienestar económico y bienestar global puede rechazarse con otro tipo de argumentación: existen actividades económicas que contribuyen positivamente al crecimiento económico pero no suponen más que gasto destinado a mantener el mismo nivel de bienestar, son gastos defensivos. Es decir, no existe una correlación positiva entre bienestar económico y bienestar total. Entre esas actividades podemos mencionar: los gastos en seguridad privada y pública cuyo objetivo es atenuar los efectos de la delincuencia y el crimen generados por el crecimiento económico; los

gastos en control de la contaminación pretenden conseguir unas condiciones ambientales similares a las existentes antes del daño ambiental, etc.

En consecuencia con todo lo anterior, el crecimiento económico no sólo no nos permite hablar de bienestar económico y bienestar global como dos conceptos sinónimos, sino que mayores tasas de crecimiento económico son las responsables de los procesos de deterioro ambiental y social en los que estamos incurriendo de forma acelerada durante el último siglo. El crecimiento económico no es un objetivo socialmente deseado. Es necesario que busquemos más el desarrollo económico y menos el crecimiento económico: más la distribución igualitaria de sus productos y menos el incremento de la escala de la actividad económica; más la reducción de los residuos producidos que el incremento de las tasas de reciclaje; mayores periodos de vida para los "bienes de consumo" duradero y para los bienes de capital y adaptación de los flujos de recursos naturales y residuos a la capacidad del capital natural para producirlos o absorberlos; etc. El desarrollo económico es posible sin crecimiento económico. Para los economistas ecólogos, este es el camino que nos lleva a mundos más justos, intra e intergeneracionalmente.

4.2. La elasticidad en la sustitución de capital natural por capital manufacturado

Finalmente, desde la economía convencional se afirma que, aún reconociendo el deterioro ambiental causado por la actividad económica, esto no es un problema importante al cual tengamos que prestar mucha atención ya que el capital natural y el capital manufacturado son completamente substituibles.

Históricamente, siempre fueron los factores escasos, limitantes por lo tanto, sobre los que se concentraron los esfuerzos de acumulación. En la época fisiocrática, el crecimiento poblacional hacía necesario una mayor producción de alimentos y la agricultura que trabajaba la tierra era la única actividad considerada productiva. Los esfuerzos se centraban en el incremento de la productividad de la tierra. Con los clásicos y la revolución industrial los procesos productivos eran altamente demandantes de fuerza de trabajo, hasta tal punto que las jornadas de trabajo muy largas y el reclutamiento de fuerza de trabajo infantil, provocaron que fuese ese factor limitante, el trabajo, sobre el que se intensificaran los esfuerzos acumuladores. Así el objetivo era el incremento de la productividad del trabajo. La limitación de los mercados nacionales y su consiguiente ampliación colonial demandaron cada vez mayores volúmenes de capital, fundamentalmente capital manufacturado. La escasez relativa de este factor propició que durante largas décadas el incremento de la productividad del capital fuese el objetivo deseado. Y todavía nos comportamos como de este modo!!!!

En cada uno de esos momentos históricos, el capital natural era considerado como muy abundante, casi como un bien libre. Hoy la situación ha cambiado ampliamente. Si entendemos que las dos componentes principales del capital natural son, primero, su capa-

cidad de producción de flujos de recursos y de captación de residuos y, segundo, la disposición de existencias de recursos terrestres, tenemos que decir que el capital natural está siendo gestionado de forma equivocada. Extraemos recursos a tasas superiores a las de su regeneración, hacemos un uso abusivo de las reservas minerales terrestres sin que una parte de los ingresos generados sea destinada a la creación de substitutos renovables, introducimos en la naturaleza residuos no asimilables., evitando irreversiblemente otros usos futuros.

Aunque el deterioro del capital natural no se puede negar, los economistas convencionales están convencidos de que este no es un problema: la substituibilidad entre el capital natural y el capital manufacturado garantiza la continuidad de la producción. ¿Son substitutivos o complementarios? Si fuesen substitutivos, no habría sido necesaria la aparición y desarrollo del capital manufacturado para propiciar los procesos de acumulación que permitieron incrementar el consumo de todo tipo de bienes: su substituto, el capital natural, hubiese bastado. Pero no fue así. Si esta prueba no es suficiente para entender su carácter de complementariedad pensemos en un ejemplo mucho más simple: la producción de muebles de madera requiere de materias primas (derivadas del capital natural), fuerza de trabajo (derivada del capital humano) y maquinaria (derivada del capital manufacturado). Entre los dos últimos requerimientos existe un amplio grado de substituibilidad: para la producción de muebles podemos usar más carpinteros o más sierras, cepillos y otros aparatos eléctricos. Ahora bien, más carpinteros y/o más sierras no pueden sustituir a menos madera: en la producción de muebles el elemento limitante es la madera. No resulta posible sustituir madera por otros factores y pretender incrementar su producción.

En resumen, el crecimiento económico genera efectos irreversibles que la economía no considera. Por ello, cuando se detectan importantes diferencias en cuanto a consumo, producción y generación de residuos entre ricos y pobres, entre el presente y el futuro, la defensa del crecimiento económico como un objetivo socialmente deseable debe ser relativizada.

5. ¿Crecimiento económico para todos?

Aunque en las sociedades occidentales existen importantes bolsas de pobreza y discriminación en el consumo de bienes duraderos y de servicios progresivos, desde el punto de vista de la tecnología, el nivel de bienestar material asociado con el crecimiento económico está extendido mayoritariamente. En los países pobres, por su parte, las cosas son muy diferentes: el hambre, el desempleo, las guerras y los desastres naturales se sienten de forma amplificada en términos de pérdida de vidas humanas.

La división del mundo en países ricos y pobres, no debe llevarnos a engaños: el exclusivista Primer Mundo Rico lo es por que existe ese otro mayoritario Último Mundo Pobre. La existencia de ambos está muy interrelacionada, vivimos en un único mundo aunque escindido entre ricos y pobres: los sistemas reguladores del movimiento de capi-

tales y mercancías nos uniformizan; el sistema energético, con el predominio de las fuentes no renovables es común y los subproductos, nuestra contaminación de todo tipo, va a parar a la misma fosa, la atmósfera, etc..

El éxito económico en el Primer Mundo Rico y el más estrepitoso fracaso en el Último Mundo Pobre lleva a que se defienda la necesidad de exportar a este último el modelo económico responsable de aquella bonanza económica. En este sentido es que tenemos que entender el papel de las compañías multinacionales y de los organismos internacionales tales como FMI y Banco Mundial (BM), agentes vehiculizadores del "bien común" en la economía global en la cual vivimos: garantizar la libertad de movimiento de los capitales y de las mercancías, ampliar los mercados para todo tipo de productos y servicios, y avanzar en los procesos de diferenciación social a través del consumo.

Este camino está llamado al mayor fracaso, desde una perspectiva intergeneracional. Primero, porque si esa estrategia no logró alcanzar aquel objetivo para las generaciones del Último Mundo Pobre, ¿cómo va a conseguirlo para todas las generaciones futuras?. En segundo lugar, el mantenimiento de tasas de crecimiento económico supone un incremento en la escala de la actividad económica que lleva a la generación de mayores residuos sin capacidad de ser reincorporados a los circuitos vitales, y a la destrucción irreversible de fuentes de energía no renovables. Si bien es una estrategia exitosa económicamente en tiempo contable, principalmente para el Primer Mundo Rico, está resultando nefasta ambientalmente en tiempo ecológico para nuestro Único Mundo, presente y futuro.

No es, por lo tanto, una buena alternativa la de pretender extender los actuales patrones de consumo y producción al conjunto de la humanidad. Los mercados globales son un hecho incuestionable pero no por eso algo deseado por la ciudadanía en general, y por los pobres en particular. Los pobres no participan en las decisiones y la ciudadanía, del Primer y del Último Mundo, tiene la esperanza de mejorar mediante la cantidad de bienes y servicios comprados . Esta esperanza es una arma muy poderosa: el crecimiento económico se presenta como el medio mediante el cual los ricos se harán más ricos y los pobres dejarán de serlo. Así, nuestras clases dirigentes, en la política, la academia y la empresa, claman de forma unánime por regulaciones que beneficien el avance cuantitativo de nuestras economías. El crecimiento económico es, de esa forma, la solución a los problemas de desempleo y de desigualdad, del hambre y de la guerra, hoy y mañana, en el presente y en el futuro.

Pero, más crecimiento económico por tiempo indefinido es una barbaridad cuando el mundo, ese que compartimos todos, es finito. No existen razones objetivas que se opongan a esta verdad: no es posible crecer indefinidamente dentro de un sistema finito. Y no sirve, como afirman los economistas, llamar nuevamente a la diosa tecnología, esta vez para explicar que somos capaces, a raíz de mejoras en los sistemas tecnológicos, de producir más sin deteriorar el medio ambiente ya que lo conseguimos con menor uso de recursos. Es cierto, por ejemplo, que hoy los automóviles recorren más kilómetros consumiendo el mismo número de litros, son más eficientes, pero existen más automó-

viles que recorren más distancia, y se gasta más energía en su proceso de fabricación, por lo que la escala de la actividad económica se incrementó y los efectos ambientales siguieron los mismos pasos. Somos más eficientes en términos de km/l, pero como consumimos más litros emitimos más contaminantes (por litro de carburante consumido seguimos emitiendo la misma proporción de metales pesados o dióxido de carbono, a pesar de la ganancia en eficiencia). Y estos contaminantes no pueden crecer de forma indefinida si queremos evitar catástrofes ecológicas severas.

La cuestión no es intentar incrementar el crecimiento económico para resolver los problemas ambientales y sociales a los que nos enfrentamos. Si queremos solucionar nuestros problemas debemos, tal y como planteamos en el apartado anterior, favorecer el desarrollo más que el crecimiento económico. Dicho de otra forma, no por producir más alimentos vamos a erradicar la pobreza y eliminar los problemas ambientales derivados de la agricultura industrializada. Una agricultura sustentable más bien necesita de una profunda transformación de la forma de producir alimentos y una modificación de la forma de acceso a los recursos.

El desarrollo requiere cambios cualitativos en nuestros sistemas económicos. Implica, por lo tanto, mantener a corto plazo una estrategia de compensación para con las sociedades del Último Mundo, dejando de crecer en el Primer Mundo para que aquellos puedan alcanzar nuestro nivel de consumo material. El desarrollo económico también implicaría diseñar los nuevos sistemas energéticos de forma descentralizada, intentando aprovechar en toda su extensión, como primera y principal estrategia, la capacidad de renovabilidad de la base de recursos localmente disponible.

Lo que se pretende destacar es la imposible tarea de hacer partícipes de los niveles de vida monetarizada del Primer Mundo Rico a los seis mil millones de personas que lo habitamos sin incrementar los daños ambientales, o por lo menos los riesgos ambientales latentes en las actuaciones realizadas. Pruebas de esto existen de diferentes tipos. Por ejemplo, el cálculo de la huella ecológica ha permitido sustentar cuantitativamente la imposibilidad de hacer universal el estilo de vida del Primer Mundo Rico. No existen suficiente tierra fértil, ni capacidad de asimilación de residuos, ni biomasa pesquera disponible para mantener de forma universal y permanente aquellos patrones de consumo.

6. Conclusiones

De lo discutido hasta aquí podemos intuir algunos elementos componentes de ese otro mundo que debe sustituir, según nuestro punto de vista, a la economía del capital.

1. Dada la ineludible interrelación entre la economía y la naturaleza, más que buscar estrategias especializadas que permitan alcanzar competitividad en los mercados mundiales, debemos estructurar nuestras economías en base a los recursos naturales local-

mente disponibles con el objetivo de alcanzar la supervivencia.

2. Aunque los sistemas ambientales imponen limites a los sistemas económicos, no podemos esperar de la ecología respuesta a todos nuestros interrogantes. El propósito de los sistemas de apropiación de los recursos naturales debe ser fijado a través de procesos de toma de decisiones donde participen todos aquellos que tengan algo en juego, que estén implicados en aquel proceso de apropiación y gestión de los recursos naturales.
3. En nuestra agenda política no debe figurar como objetivo el incremento del PIB. Razonar utilizando esa macromagnitud y demandar su crecimiento para solucionar nuestros problemas socioambientales es tan reaccionario como defender al mercado como el lugar apropiado para resolverlos.
4. Las sociedades del Primer Mundo Rico deben dejar de crecer para que 1as sociedades del Último Mundo Pobre alcancen niveles de vida apropiados. Esta redistribución intrageneracional debe estar acompañada por la supresión, o por la reducción más inmediata y amplia posible, de los procesos de producción y consumo que tengan efectos irreversibles a través del tiempo.

Galeano E (1993) Las venas abiertas de América Latina. Siglo XXI Editores, México.

Georgescu-Roegen N (1975) Energía y mitos económicos. El trimestre Económico Nº 168: 779-836.

Georgescu-Roegen N (1980) The entropy law and the economic problem. In: Economics, ecology, ethics. Daly H (1980) (Ed). W. H. Freeman and Company, San Francisco. pp. 49-60.

Kapp KW (1978) El carácter de sistema abierto de la economía y sus implicaciones. En: Dopfer K (1978): 126-146.

Naredo JM (1987) La economía en evolución. Siglo XXI Ed, Madrid.

El agroecosistema: un sistema natural modificado. Similitudes y diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas

Santiago J. Sarandón

1. Introducción

1.1. La necesidad de una visión sistémica y holística para el abordaje de la producción agropecuaria

Existe un consenso creciente acerca de que el logro de una agricultura sustentable exige un cambio en la forma en que se han abordado, hasta ahora, los sistemas agropecuarios.

En general, hay coincidencia en que se ha privilegiado el estudio de los componentes por sobre el conocimiento de las interrelaciones entre ellos. A su vez, la falta de una visión sistémica que permitiera evaluar los límites y, consecuentemente, las salidas y entradas a través de los mismos, ha generado dificultades para percibir las salidas no deseadas del sistema, como los contaminantes, que han originado graves problemas ambientales. (ver capítulo 1)

A pesar de la poca importancia que se le ha dado al estudio del funcionamiento de los ecosistemas en la formación de los profesionales de la agronomía, el objetivo de los agrónomos no es más ni menos que intervenir los ecosistemas para que estos produzcan ciertos bienes económicos en lugar de los que naturalmente producirían sin la intervención humana. Como empieza a reconocerse, "...toda producción rural finalmente implica una apropiación de ecosistemas, es decir, de totalidades o ensamblajes físico-biológicos dotados de un equilibrio dinámico, y que las especies o los materiales o las energías usufructuadas durante dicha apropiación no son simples elementos de aquello" (Toledo, 1994). Por lo tanto, es necesario un abordaje diferente, basado en una visión de sistemas y un mayor conocimiento del rol que los componentes tienen en la producción agropecuaria. La agroecología asume este desafío y va más allá aún, al entender que el manejo sustentable de los agroecosistemas requiere algo más que la aplicación de la ecología a la agricultura: deben tenerse en cuenta también los aspectos socioeconómicos que modifican las decisiones de los agricultores.

La visión sistémica es entonces fundamental e implica que los agroecosistemas deben visualizarse como sistemas ecológicos asociados a variables socioeconómicas, que tienen por fin una producción de utilidad económica. Por otro lado, el abordaje holístico o generalis-

ta implica reconocer que el todo es más que la suma de las partes. Como señalan Lugo & Morris (1982) "es imposible interpretar el comportamiento de un sistema dado sólo a base de estudios sobre el comportamiento de sus partes". Por ello, para abordar la complejidad del manejo sustentable de agroecosistemas, es esencial este tipo de enfoque ya que la suma de varias visiones parciales o visiones de especialistas, muchas veces, no permite entender la totalidad del problema.

El conocimiento de estos fenómenos es entonces necesario para un manejo que permita compatibilizar la obtención de un flujo de bienes y servicios sin comprometer la capacidad productiva de los recursos para las futuras generaciones.

El objetivo de este capítulo es señalar la importancia de aplicar el análisis de sistemas para el manejo de los agroecosistemas, resaltando las diferencias y similitudes de los principales procesos en ecosistemas naturales y agroecosistemas, y el impacto que las distintas prácticas agrícolas tienen sobre ellos.

2. El enfoque de sistemas

Un sistema es un "arreglo de componentes físicos, un conjunto o colección de cosas, unidas o relacionadas de tal manera que forman y actúan como una unidad, una entidad o un todo", (Becht, 1974). En un sistema pueden reconocerse: componentes, interacciones entre sus componentes, entradas, salidas y límites.

2.1. Componentes de los sistemas

Los ***componentes*** de un sistema pueden ser muy variados, según se trate de sistemas biológicos, mecánicos o de cualquier otro tipo. Pueden encontrarse sistemas compuestos de muchos componentes y otros de muy pocos. En un sistema, es fundamental entender que sus propiedades no dependen sólo de sus componentes, sino de la interrelación existente entre ellos. Así como un reloj no es el producto de la suma de todas sus piezas, sino de la forma en que éstas están relacionadas (ya que si pierden su relación, éste no funciona), así, en un sistema ecológico, no es sólo la suma de sus componentes, sino la forma en que éstos se interrelacionan lo que le da sus propiedades particulares. Y, en el caso de un agroecosistema, lo que le confiere sus características productivas.

Los componentes de los ecosistemas y agroecosistemas pueden dividirse, según su función en productores, consumidores y detritívoros.

Los ***productores*** son aquellos componentes que tienen la particularidad de, mediante el proceso de la fotosíntesis, transformar y acumular energía lumínica en forma de energía química. Las plantas verdes, son los productores por excelencia.

Los ***consumidores*** se ubican en un nivel trófico superior y necesitan a los productores para subsistir, ya que, por su incapacidad de transformar la energía luminosa, deben

alimentarse de los componentes que sí lo hacen. Los consumidores comprenden a todos los animales, tanto silvestres: liebres, insectos, como domesticados: vacas, ovejas, aves. A los que se alimentan de vegetales, se los denomina consumidores primarios y los que se alimentan de animales se denominan consumidores secundarios, como el caso de las fieras, aves rapaces, predadores de insectos, etc.

Los ***detritívoros,*** son también consumidores, pero se alimentan de tejido muerto de las plantas, e intervienen en el reciclado de la materia orgánica y los nutrientes. Aquí se encuentran varios grupos como los artrópodos y numerosos microorganismos fundamentales en estos procesos.

2.2. Límites y niveles jerárquicos

Es fundamental reconocer o definir los *límites* del sistema en estudio. Estos no son fijos y dependen de nuestro objetivo o interés. La definición de los límites resulta indispensable para evaluar otros atributos que son las salidas y entradas. Si los límites no son precisos, no pueden percibirse entradas ni salidas, o pueden confundirse con salidas lo que no son mas que relaciones internas. Este concepto tiene especial importancia para el manejo de agroecosistemas ya que, por definición, su objetivo es producir un flujo constante de materiales (bienes y servicios) fuera del mismo, pero al mismo tiempo evitando o minimizando las salidas no deseadas: contaminantes, erosión de suelos y nutrientes, entre otros.

Una correcta definición de los límites del sistema, requiere tener en cuenta los *niveles jerárquicos.* Este aspecto se refiere a la relación que se establece entre diferentes sistemas. Un sistema puede ser un subsistema de un sistema de mayor jerarquía y, a su vez, contener varios subsistemas, y así sucesivamente. Se puede analizar a nivel país, cuenca, región, fincas, parcelas o plantas. ¿Cuál es el nivel de jerarquía que debemos tener en cuenta? Esto depende de nuestro objetivo, pero Hart, (1985) propone que, para cualquier estudio, deben tenerse en cuenta, por lo menos tres niveles jerárquicos. El sistema que nos interesa, el que está por encima o lo contiene y los subsistemas o componentes del mismo.

Los sistemas tienen, además, una *estructura* que les permite cumplir con su función. La estructura de un sistema puede ser muy simple o compleja y depende de: número y tipo de componentes y del arreglo entre componentes. Un ecosistema puede tener numerosos componentes, como, por ejemplo, una selva tropical donde coexisten muchas especies, o puede tener pocos componentes, como un sistema de monocultivo de trigo. El arreglo o relación entre los componentes puede ser de varios tipos: competitivo, cuando utilizan los mismos recursos; cíclico, cuando forman parte de un ciclo biogeoquímico o trófico, cuando uno sirve de alimento a otro.

2.3. Procesos de los sistemas

En los sistemas naturales o agroecosistemas pueden reconocerse 5 procesos básicos

(Lugo & Morris, 1982):
- fotosíntesis
- respiración
- flujo de nutrientes: ciclos biogeoquímicos
- sucesión
- procesos internos de regulación (ciclos reproductivos, fases fenológicas, asignación de recursos)

2.3.1. Fotosíntesis y respiración, producción primaria

La *fotosíntesis* es la función primordial de los ecosistemas. Es la que permite a través de una propiedad única de la clorofila, transformar la energía luminosa en energía química (hidratos de carbono), que luego es utilizada por las propias plantas o consumida por los animales. Este proceso es fundamental en cualquier ecosistema, y sobre todo en los agroecosistemas. A los componentes que realizan esta función, los vegetales, se los denomina productores primarios. Son los encargados de producir materia en el sistema. Sin ellos, ésta debe ser importada desde otro sistema, como ocurre en la cría de pollos en galpones o en los sistemas de engorde de animales a corral ("feed lot"). El producto de la fotosíntesis se *denomina producción primaria bruta (PPB)* y es todo lo que las plantas fijan a través de este proceso. Sin embargo, no toda esta energía fijada se utiliza para el crecimiento del ecosistema, parte la usan para su manutención y parte para su crecimiento o acumulación de materia seca.

El otro proceso esencial que ocurre en los ecosistemas naturales o agrícolas es la *respiración.* Este proceso consume lo acumulado por el proceso de fotosíntesis, para obtener energía para otros procesos vitales. La diferencia entre la fotosíntesis y lo consumido por la respiración es lo que se denomina *producción primaria neta (PPN)* y es lo que determina si el ecosistema crece o no, si acumula materia o no. Pueden darse tres condiciones: PPN > 0, PPN = 0, o PPN < 0. El primer caso es típico de los agroecosistemas, una producción primaria neta positiva: la fotosíntesis es mayor que la respiración. Es su razón de ser y su objetivo: la producción de un excedente para consumir o para vender y exportar a otros ecosistemas.

La situación donde la productividad primaria neta es igual a cero (PPN=0) se da en algunos ecosistemas naturales maduros (que han llegado a su clímax ecológico). Esto no quiere decir que tengan poca biomasa (a veces, incluso esta es máxima), sino que la respiración es igual a la fotosíntesis y que por lo tanto, el sistema se mantiene inalterable o con pocas variaciones en su cantidad de materia. Esto ocurre porque existen muchas estructuras que no realizan fotosíntesis pero que respiran, como las raíces, o troncos de los árboles, que son indispensables para mantener las funciones del sistema.

No debe confundirse biomasa con productividad. La biomasa presente en un sistema, en un momento dado, puede ser el producto de muchos años de acumulación. La productividad es la cantidad acumulada en una unidad de tiempo y por unidad de área. Lugo & Morris (1982) señalan al respecto, que la biomasa *per se* no es una medida que

indique la magnitud de la productividad de un sistema.

Por otro lado, los sistemas típicos donde la respiración es mayor a la fotosíntesis y que, por lo tanto, tiene una producción primaria neta menor que cero (PPN<0) son las ciudades, que por esa razón necesitan de la existencia de los agroecosistemas para producir un excedente para su sustento. Otro ejemplo son los sistemas de producción de pollos industriales o sistemas de producción de hongos, donde la energía que consumen los animales (granos, alimento balanceado) o que se utiliza como sustrato de los hongos (paja), es importada del excedente de producción de otros sistemas, que son subsidiarios de éste.

2.3.2. Ciclos biogeoquímicos

Los ciclos biogeoquímicos son un proceso fundamental en los ecosistemas, tanto naturales como agrícolas, cuya fuerza impulsora, es la energía que atraviesa el sistema. Las trayectorias más o menos recurrentes de los elementos químicos entre los organismos y el medio ambiente en ambos sentidos se conocen como ciclos biogeoquímicos (Odum, 1998). Son transformaciones químicas que los materiales van sufriendo, a través de su paso por el suelo, el agua y el aire con intervención de componentes biológicos, en muchos casos microorganismos, que resultan fundamentales en estos procesos. Así las bacterias celulolíticas, nitratadoras, nitrificadoras, etc., tiene un importante rol en la descomposición de la materia orgánica y su puesta a disposición para las plantas en forma de nutrientes. Algunos ciclos importantes para los agroecosistemas son el ciclo del C, del N y el del P .

Cualquier nutriente, sólo está disponible parcialmente y en un determinado momento. Por ello hay que establecer la diferencia entre la cantidad total y la disponible, que es la que sirve para ser apropiada por los componentes biológicos del sistema. La tasa o velocidad con que se hacen disponibles, tiene que ver con los ciclos biogeoquímicos. A su vez, el lugar o los componentes donde se almacenan los nutrientes, son diferentes en distintos tipos de ecosistemas. Así en un bosque tropical, gran parte de los nutrientes se almacenan en el tejido vegetal. Por el contrario, en los sistemas templados de praderas, con suelos profundos, la mayor parte de los nutrientes se encuentran en el suelo.

2.3.3. Sucesión

Los ecosistemas no son estáticos, sino que tienden a su desarrollo. Este fenómeno es conocido como sucesión o desarrollo del ecosistema, y distingue claramente a los sistemas que tienen componentes biológicos de los que son fundamentalmente físicos (Odum, 1998). Todos los ecosistemas, tanto naturales como agrícolas, tienen una tendencia hacia un cambio dinámico en el tiempo, que es consecuencia de fuerzas que irrumpen desde el exterior y de procesos de desarrollo generados dentro del sistema. El término sucesión describe los cambios estructurales y funcionales que experimenta un ecosistema en el transcurso del tiempo.

La sucesión es un proceso ordenado, y por lo tanto previsible, que se da en todo ecosistema. Es el resultado de la modificación del medio ambiente físico y de la estructura de la población, por parte de la comunidad. Es una fuerza o tendencia del ecosiste-

ma que culmina con el establecimiento de un ecosistema estable. La etapa final de un ecosistema se conoce como clímax y su composición o comunidad final depende de las características agroclimáticas de la zona, geografía, clima, etc. Una de las características de esta etapa climáxica es que son sistemas estables, o más o menos estables, en los cuales, teóricamente, se alcanza la máxima biomasa por unidad de energía (Odum, 1998). Las etapas de desarrollo se conocen como etapas serales y tienen mucho que ver con el manejo que hace el hombre de los sistemas agrícolas, ya que son las etapas permanentes de los agroecosistemas.

2.3.4. Procesos internos de regulación

Se conoce con este nombre a una serie de procesos internos que ocurren en los ecosistemas naturales o agroecosistemas y que tienen que ver con los ciclos reproductivos, fases fenológicas y la partición o asignación de los recursos. Los ciclos reproductivos hacen referencia a la forma característica en que los diferentes componentes del sistema se reproducen a sí mismos. Las *fases fenológicas* a los diferentes estadíos en el desarrollo de los seres vivos, desde su nacimiento hasta su muerte. La *partición o asignación de recursos* es la manera en que la energía fijada como materia se distribuye entre los diferentes órganos de los componentes del sistema, en el caso de los vegetales: raíces, tallos, hojas, frutos, bulbos, estructuras defensivas, etc.

Todas estas propiedades les dan sus características a los ecosistemas y determinan la eficiencia con que realiza sus funciones, lo que se analizará cuando se compare el comportamiento de los sistemas.

2.3.5. Atributos o propiedades de los sistemas

Los sistemas pueden evaluarse de acuerdo a la forma en que cumplen sus funciones. Algunos atributos o propiedades que pueden evaluarse, son: la productividad, la eficiencia, la resiliencia, o la estabilidad.

La *productividad.* Se refiere a la producción de biomasa (total o de algún órgano en particular) en un período determinado de tiempo. Una medida muy usada de productividad es el rendimiento de los cultivos en los agroecosistemas.

Puede medirse también la *eficiencia* de algún proceso, es decir, la relación entre insumos que ingresan y los que salen. Esto puede referirse a la energía, nutrientes, etc. Un sistema puede ser altamente productivo (alta productividad) pero poco eficiente porque esta productividad requiere un alto ingreso de algún insumo, como en el caso de algunos sistemas modernos de producción de alimentos.

La *estabilidad* es un atributo importante del sistema, y se refiere a la capacidad de resistencia a los cambios. Está relacionado también con otro atributo, la *resiliencia,* que es la capacidad de recuperarse luego de sufrir algún disturbio. Un sistema puede ser altamente productivo pero muy inestable o frágil.

La importancia que le asignemos a cada una de estas propiedades del sistema dependerá de los objetivos buscados.

3. Agroecosistemas y Ecosistemas Naturales. Similitudes y diferencias

Los agroecosistemas, tal como los definiera Odum (1984), son un tipo especial de ecosistema, intermedios entre los ecosistemas naturales y los ecosistemas urbanos como las ciudades, totalmente construidos por el hombre. Los agroecosistemas tienen, tal vez, el mayor impacto en nuestras vidas que cualquier otro ecosistema, debido a que ellos nos proveen de comida y fibras y tienen grandes impactos sobre la calidad del ambiente (Elliot & Cole, 1989).

Varias son las diferencias y similitudes entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas. El conocimiento de estas características y de la influencia que sobre ellas ejercen determinadas prácticas agrícolas es fundamental para planificar un manejo adecuado de los mismos, con el objetivo de una producción sustentable en el tiempo.

Algunas de las principales diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas se han sintetizado en la tabla 1 y se describen a continuación;

Tabla 1

Algunas similitudes y diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas

Atributos	Ecosistema natural	Agroecosistema
Objetivo	Ninguno	Utilitario
Responsable	Nadie	Agricultor
Fuente de energía	Solar (mareas)	Solar + artificial (combustibles fósiles)
Diversidad genética	Alta	Baja
Diversidad específica	Alta	Baja
Fuerza de selección	Natural (evolución)	Hombre (económica)
Asignación de recursos	Equitativa (estr. competitivas)	Económica (granos, tubérculos)
Productividad	Baja (nula)	Alta
Biomasa	Alta	Media
Productividad / biomasa	Baja	Alta
Flujo de nutrientes	Cerrado	Abierto
Ocupación de nichos	Alta	Baja
Aprovechamiento de recursos	Alta	Baja
Continuidad espacio temporal	Alta	Baja
Sincronización entre plantas y microorganismos	Alta	Baja
Lixiviación de nutrientes	Baja	Alta
Erosión	Baja	Alta
Estabilidad	Alta	Baja
Resiliencia	Alta	Baja

3.1. El Objetivo

Hart (1985) define al agroecosistema como un ecosistema que cuenta, por lo menos, con una población de utilidad agrícola. Elliot & Cole (1989), por su parte, lo definen como un grupo interactivo de componentes bióticos y abióticos, algunos de los cuales están bajo control humano, que forman una unidad con el propósito de producir fibra y comida. Independientemente de la definición que se tome, queda en claro que, a diferencia de los ecosistemas naturales (EN), los agroecosistemas (AES) tienen un objetivo, la producción de alimentos o fibras, y por lo tanto, un responsable del manejo; el hombre. Este decide intervenir en la estructura natural de un ecosistema para cambiarlo y obtener de él otros productos que considera de mayor utilidad. Para eso tiene que modificar sus componentes y las interrelaciones entre ellos. Pero el hombre no actúa o vive solo, sino que vive en una comunidad y decide su grado de intervención y sus objetivos a través de complejos mecanismos de decisión que involucran sus valores, creencias y conocimientos, dentro de un contexto socioeconómico y político determinado. Mitchell (1984) señala que la distribución de cultivos y los consumidores en los sistemas de producción de gran escala, están mayormente determinados por los factores económicos.

3.2. La energía en los ES y AES

El flujo de energía es uno de los procesos fundamentales en los ecosistemas. La energía emitida por el sol y recibida por las plantas (productores primarios) es la principal fuente de toda la vida en el planeta (Baylis-Smith, 1982). Como es sabido, la energía no se recicla, sólo circula y fluye a través de los sistemas, perdiendo capacidad de generar trabajo y aumentando, por lo tanto, la entropía. Este flujo energético unidireccional, como fenómeno universal es el resultado de la acción de las leyes o principios de la termodinámica (Odum, 1998). Aunque por el primer principio, la energía no se destruye, sí cambia de calidad y se degrada, perdiendo la capacidad de generar trabajo y disipándose.

La eficiencia y el tipo de energía utilizada son una de las grandes diferencias entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas. En un ecosistema natural la principal fuente de energía es la solar, a excepción de algunos ecosistemas dónde la fuerza de las mareas tiene un rol importante como en regiones costeras. La cantidad de la energía que efectivamente llega al suelo depende de las condiciones geográficas del ecosistema en cuestión. Igualmente sólo una pequeña fracción de la energía que llega a la atmósfera alcanza efectivamente las plantas. Sin embargo, esta pequeña energía es suficiente para sostener todos los procesos vitales de los agroecosistemas tan complejos como una pluviselva tropical.

En los agroecosistemas, además de la energía del sol, se utiliza energía de otras fuentes, principalmente energía fósil derivada del petróleo que, aún hoy, constituye la principal fuente de energía. En rigor, se trata también de energía solar que, por el proceso de fotosíntesis,

fue convertida a carbono hace muchos millones de años. Pero no pertenece al flujo actual de energía emitida por el sol y, a diferencia de ésta, es un recurso no renovable que se agotará tarde o temprano (al ritmo actual de consumo, más temprano que tarde).

En un agroecosistema, el uso de energía proveniente de otras fuentes es, a veces, importantísimo, dependiendo de la intensidad, de los sistemas de manejo y los estilos de agricultura seleccionados. En sistemas altamente industrializados, como los cultivos en invernáculos con fertirriego, puede ser enorme. Esta energía entra al sistema no sólo en forma de combustibles, sino en forma de plaguicidas, fertilizantes, riego, labores, etc.

Una medida del uso de la energía es la *eficiencia energética del sistema,* es decir, la relación entre la energía que sale y la que entra. O, en otras palabras, cuántas unidades de energía se obtienen (generalmente en forma de alimentos) por cada unidad que se invierte en el sistema. Como la energía no conserva sus características luego de atravesar los AES, (ingresa como energía de un tipo y se transforma en otro), este análisis requiere convertir todas las entradas y salidas a unidades equivalentes, en MJoules o Kcalorías. Este análisis de los flujos y la eficiencia energética de los agroecosistemas fue promovido y desarrollado, entre otros, por David Pimentel, investigador de la Universidad de Cornell, EE.UU. En sus estudios, claramente queda expuesta la baja eficiencia en el uso de la energía de estos sistemas altamente industrializados, enmascarada, a veces, por el bajo costo de los combustibles fósiles y por su alta productividad. En algunos sistemas incluso, la energía obtenida es menor que la que se suministra en forma de insumos. En los Estados Unidos, desde el año 1700 hasta 1900 el incremento en el uso de la energía (principalmente fósil) aumentó 17 veces, mientras que, en el mismo período, los rendimientos del maíz aumentaron sólo 3 veces (Pimentel *et al.*, 1990).

La eficiencia en el uso de la energía está estrechamente relacionada con el tipo de agricultura que se practique. Pimentel *et al.*, (1986), encuentran que la producción orgánica de maíz y trigo, sin uso de fertilizantes sintéticos fue un 26 a 70% energéticamente más eficiente que la convencional. Por ora parte, Bayliss-Smith (1982), analizando diferentes sistemas agrícolas encontró que esta eficiencia puede ir desde 40 unidades de energía obtenidas por unidad suministrada en sistemas primitivos de cultivos, hasta sólo 1 o 2 en sistemas de agricultura industrializada. Justamente, cierto tipo de sistemas muy intensivos son altamente productivos, pero, desde el punto de vista energético, altamente ineficientes.

3.3. La biodiversidad en los agroecosistemas

La biodiversidad o diversidad biológica se refiere a la variación en genes, especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas. Según Olson & Francis (1995), la diversidad biológica es uno de los conceptos más importantes en ecología y uno de los puntales de la agricultura. Sin embargo, aun permanece como una idea compleja y no completamente entendida.

La diversidad biológica o biodiversidad presente en un ecosistema dado, es altamente dependiente del tipo de ecosistema y de las condiciones climáticas de los mismos. No es la misma en una selva tropical que en un desierto o monte achaparrado.

La diversidad, tanto específica como genética es otra gran diferencia entre EN y AES. El manejo que el hombre hace de los ecosistemas consiste en reemplazar una gran cantidad de especies silvestres por unas pocas o sólo una especie de utilidad agrícola. De las 350.000 especies de plantas con flores que se conocen, sólo unas 3000 se consideran de alguna importancia económica (Tivy, 1990). La agricultura moderna se caracteriza por su uniformidad a nivel genético y específico (híbridos simples de maíz), a nivel parcela (toda la parcela sembrada con la misma especie, sin presencia de vegetación espontánea: malezas), a nivel finca (grandes superficies con unos pocos cultivos) y a nivel región (zonas productoras de determinados cultivos), lo que se traduce también en la uniformidad del paisaje. Esto es algo común en muchos sistemas, como, por ejemplo, la zona cerealera de la pampa húmeda Argentina. Incluso, en los últimos años esta baja diversidad se ha llevado al límite con sistemas como los de las plantas transgénicas resistentes a herbicidas totales. Es el caso del cultivo de la soja RR (que ya ocupa más del 90% de la superficie con soja en la Argentina) donde no existen siquiera especies vegetales acompañantes (malezas).

Otros sistemas de baja diversidad son los cultivos de especies hortícolas como el apio, tomate o frutilla en invernáculos que se tratan previamente con un esterilizante de suelo (bromuro de metilo). La idea aún predominante en muchos agrónomos es que el único ser vivo del sistema debe ser el cultivo. Sin embargo, el rol de la biodiversidad en los agroecosistemas está siendo revalorizado actualmente. La 3er Conferencia de las partes (COP III), que es un instrumento surgido del Convenio sobre Biodiversidad (UNEP, 1997) reconoció la interdependencia entre la agricultura y la diversidad biológica (DB) y cultural, como la posibilidad ofrecida por la agricultura sostenible para disminuir el impacto negativo sobre la DB, mejorar o incrementar a su vez el valor de la DB y unir los esfuerzos de conservación con los beneficios sociales y económicos.

Los polinizadores, enemigos naturales, lombrices, y microorganismos del suelo son todos componentes claves de la biodiversidad que juegan importantes roles ecológicos, mediante procesos como los de introgresión genética, control natural, ciclaje de nutrientes, descomposición, etc. (Altieri & Nicholls, 1999). En este sentido, es importante destacar la importancia de reconocer la diversidad funcional más que la específica. No es lo mismo tener 3 especies semejantes o que cumplen un mismo rol en al agroecosistema, que tres especies con roles bien diferentes. La importancia de esto, está asociada al grado de redundancia que tengan las especies, algo que no es todavía del todo comprendido.

La COP III (UNEP, 1997) llama a identificar aquellos componentes claves de la biodiversidad en sistemas de producción agrícola, responsables del mantenimiento de los procesos naturales y ciclos, y a monitorear y evaluar los efectos de las diferentes prácticas y tecnologías agrícolas sobre esos componentes y alentar la adopción de prácticas repa-

radoras para alcanzar niveles apropiados de DB. Estos aspectos, sumamente importantes, constituyen aún, una deuda que debe ser saldada.

Un aspecto que debe ser considerado es la diferencia entre diversidad y riqueza. La riqueza se refiere al número de especies, independientemente de que su distribución sea equitativa o no. La diversidad se refiere a su distribución equitativa. Por ejemplo, un sistema (A) puede tener 10 especies de cultivos, pero un 98% de su superficie cultivada con uno (maíz) y el resto con otros 9 cultivos. El sistema B, por el contrario, puede tener 10 especies, pero de manera tal que cada una ocupa un 10% de su territorio. Aunque el valor de riqueza es igual, la diversidad es mucho mayor en el sistema B. Para medir la diversidad se han propuesto varios índices, entre los cuales el índice de Shannon de la diversidad general (H) de empleo muy generalizado es uno de los mejores para efectuar comparaciones, entre otras cosa porque es razonablemente independiente del tamaño de la muestra (Odum, 1972). Permite evaluar la uniformidad de la distribución de especies, según la fórmula: H: $\Sigma\ P_i\ log\ P_i$, donde P_i: es el valor de importancia para cada especie sobre el número total de especies.

No es posible lograr o pretender el mismo grado de biodiversidad en todos los agroecosistemas. Cada agroecosistema tiene su propio potencial de diversidad que está dado por las condiciones agroclimáticas de la zona, características geográficas, etc. Pero, sin duda, uno de los factores que más influencian o determinan el grado de diversidad de los agroecosistemas es la mente del productor, la idea que este tiene de lo que es un agroecosistema, y de la importancia que le otorga a la biodiversidad para su funcionamiento. Muchas veces, el problema es la uniformidad como objetivo o ideal agronómico. Como señala Vandana Shiva (1996), muchas veces, es un problema de monocultivo de las mentes.

3.4. Biodiversidad y estabilidad

La diversidad espacial y física pueden tener un importante rol en la estabilidad del sistema (Murddoch, 1975). En este sentido, no sólo es importante la cantidad de especies, sino también la variabilidad estructural del sistema. La disponibilidad de hábitat diversos que esto genera, parece ser importante para mantener una población variable y diversificada. Esto se refiere a la presencia de varios estratos aéreos que conforman la estructura vertical: hierbas, arbustos, árboles. Olson & Francis (1995), citan a Southwood *et al.*, 1979 quienes encontraron que la riqueza de especies de insectos se correlacionó pobremente con la riqueza de plantas, pero lo hizo bien con la estructura vertical.

Viglizzo (1994) encontró que la sensibilidad a la variabilidad ambiental estaba relacionada negativamente con el grado de articulación interna del sistema. Por lo tanto, a mayor grado de articulación interna, menos propenso será el sistema a variaciones debidas al ambiente. Esto se debe a que en sistemas con más componentes, el disturbio externo tiene más oportunidades de ser canalizado y disipado que en sistemas simples, con pocos componentes. Pero el costo de mantenimiento, debido a los múltiples pasos metabólicos es alto y

la productividad menor. Por lo tanto, la baja productividad de los modelos de producción más complejos y articulados, puede estar asociada a un alto costo de mantenimiento de una estructura interna más compleja. Mientras más alta sea la energía derivada para mantener la estructura del sistema, menor será la disponible para la producción (Viglizzo, 1994). De acuerdo con estas ideas, los sistemas simples, altamente productivos son mucho más vulnerables y menos estables que los sistemas más diversificados.

3.5. Fuerza de selección: evolución vs. mejoramiento genético

Las fuerzas que actúan en los sistemas son muy diferentes entre un EN y un AES. En los EN, la selección natural actúa permanentemente, seleccionando a los individuos mejor adaptados para sobrevivir y reproducirse mediante el proceso de evolución. Por el contrario, en los AES, es el hombre quien selecciona los componentes del sistema, privilegiando ciertas características económicamente deseables y descartando las indeseables, aunque mejoren la capacidad de adaptación al ecosistema (ej. la habilidad competitiva).

El resultado de esto es una gran diferencia en la partición o asignación de recursos entre EN y AES. Mientras que, en un ecosistema, las fuerzas de la selección natural privilegian individuos que tengan una partición de recursos hacia estructuras competitivas, en los AES, el objetivo son sólo las estructuras económicamente útiles. Cox (1984) señala que, en los agroecosistemas, se han seleccionado estrategias tipo A (allocation = partición en inglés), y que, creando estas especies, el hombre debe asumir la responsabilidad por las funciones ecológicas que han sido sacrificadas.

Bajo esta concepción utilitarista, el hombre muchas veces ha dejado de lado atributos competitivos que serían privilegiados y seleccionadas en los ecosistemas naturales, por una mayor productividad, basándose en el hecho que una mayor capacidad competitiva, era sólo un gasto de energía en un sistema que no iba a tener problemas de competidores. Un ejemplo claro de esto ha sido la selección y mejoramiento de los cultivares modernos de varias especies. Como los ecofisiólogos han determinado, su mayor rendimiento actual no se debe a su mayor capacidad de utilizar los recursos, o una mayor capacidad fotosintética sino sólo a una mayor capacidad de partición de la materia seca hacia el grano como es el caso del trigo pan (Austin *et al.*, 1980). Esto ha sido en detrimento de algunas ventajas competitivas como la altura o un buen desarrollo radicular (Siddique *et al.*, 1990). Las variedades más antiguas y altas tendrían una mayor capacidad de exploración radical que las más modernas y de menor altura.

Características que, casi con seguridad no habría permitido sobrevivir a las plantas en ecosistemas naturales son consideradas como deseables por la selección humana. Pero esto tiene un costo. Las plantas seleccionadas son más productivas o potencialmente más productivas, pero requieren una mayor inversión de energía de parte del hombre para compensar aquella que no se ha invertido en sus sistemas de supervivencia o adaptación al medio.

3.6. Productividad, biomasa y etapa sucesional

Otras diferencias notables entre AES y EN son las relacionadas con su productividad y biomasa, de acuerdo con su etapa sucesional. En un ecosistema natural, que ha llegado a su clímax ecológico, la productividad es generalmente cercana a cero. Esto no quiere decir que no haya fotosíntesis (esta incluso puede ser mayor que en un ecosistema joven), sino que esta es similar a la respiración. Por lo tanto, la productividad primaria neta (PPN), que es lo que permite acumular biomasa por unidad de tiempo, es casi nula. Es por esta razón que el hombre debe mantener sus agroecosistemas en etapas sucesionales tempranas para obtener una productividad rentable todos los años.

Sin embargo, los AES, como todos los ecosistemas, tienen una tendencia hacia la complejidad y hacia la madurez. Esto es lo que cualquier agricultor percibe cuando intenta, luego de haber eliminado todas las plantas con el arado, cultivar sólo maíz o trigo. Espontáneamente aparecen otros componentes del sistema que no fueron sembrados y que intentan ocupar los nichos disponibles y que compiten con nuestro cultivo. A pesar de los esfuerzos del productor, esta tendencia es lo que naturalmente debe ocurrir. El mantenimiento de este estado juvenil de nuestro agroecosistema para lograr una máxima productividad debe ser hecho, por lo tanto a contramano de la tendencia natural para lo que se requiere invertir energía en forma de trabajo o herbicidas. Mientras más alejado esté nuestro sistema de las características del sistema maduro de la zona, mayor será la cantidad de insumos que tendremos que invertir para mantenerlo en ese estado. Y mayores los costos ambientales que podemos ocasionar. Por ejemplo, no es lo mismo mantener una pastura polifítica en la Pampa Argentina, cuya formación climáxica es el pastizal, que mantener la producción de trigo en el desierto de Israel, cuya formación climáxica es el desierto.

En este sentido la agroecología propone, no la posición idílica de "volver a la naturaleza", sino un punto de vista más racional, que intenta manejar los agroecosistemas de manera tal de seguir obteniendo un nivel alto de productividad, pero compatible con la disminución de los costos de mantenimiento y los impactos ambientales no deseados.

3.7. Ocupación de los nichos

En un ecosistema natural maduro, prácticamente todos los nichos están ocupados. No hay recursos desperdiciados. Siempre hay algún componente del sistema con la capacidad de hacer uso de los recursos que aparecen como disponibles. Por el contrario, en un agroecosistema esto es totalmente diferente. Imaginemos una plantación de maíz: en el hemisferio sur, el 20 de septiembre se colocan, en un suelo desnudo, 60.000 semillas.ha^{-1} de individuos de un híbrido F1, todos iguales, que recién emergen 10 días después.

Por lo tanto, en las primeras etapas del desarrollo del cultivo, existe una gran cantidad de recursos, agua, luz y nutrientes que están disponibles y que no pueden ser usados por la población del cultivo hasta mucho tiempo después. Lo que naturalmente suce-

de es que el sistema tiende a su clímax y estos recursos son utilizados por otras especies o se pierden. Mejor dicho, salen de este sistema y terminan en otro, como es el caso de los nitratos que, en la solución del suelo, son arrastrados hacia cuerpos de agua superficiales o subterráneos, causando problemas de cierta magnitud.

Es decir, en los agroecosistemas la utilización de los recursos es ineficiente, comparada con los EN y, por lo tanto, parte de ellos no pueden ser utilizados por el sistema. Hay un desfasaje entre los recursos que se suministran y los componentes que están en condiciones de utilizarlos en un momento dado. Esto está relacionado a la existencia de nichos vacíos y a la baja diversidad de especies. Héctor *et al.*, (1999) han demostrado recientemente que los sistemas más diversos aprovechan mejor los recursos y tiene mayor producción que los sistemas menos diversos.

3.8. Continuidad espacio-temporal y sincronización de microorganismos-plantas

En un AES, la continuidad espacio temporal es inexistente o bastante errática. Los componentes del sistema aparecen y desaparecen de manera brusca. En un cultivo de trigo, en un momento dado se colocan 300 plantas por m^2. Y tiempo después, de un día para el otro, se entierran con el arado enormes cantidades de residuos. A su vez, la continuidad espacial es también interrumpida en los AES. En una finca es común ver terrenos con vegetación y otros en barbecho o descanso o recién arados. En un EN, esto constituye una rareza.

Como consecuencia de lo anterior, en los AES, la sincronización entre microorganismos y plantas puede entonces no existir. No hay microorganismos suficientes para hacerse cargo de descomponer la gran cantidad de materia y energía que súbitamente ingresa al subsistema suelo. Esto se traduce en una baja eficiencia de estos procesos y un retraso en los mismos. Es decir, se producen enormes cantidades de compuestos que no pueden ser procesados por los otros componente de la cadena trófica, porque estos no están aún en número suficiente. En el caso del N, la remoción del suelo y entierro de enormes cantidades de residuos celulósicos, provoca una explosión en el desarrollo de estos microorganismos celulolíticos que consumen todo el N disponible originando entonces lo que se conoce como "hambre de N". Con la muerte de los mismos, este N vuelve al sistema donde puede ser aprovechado por las plantas.

La fertilización es otra práctica común en los agroecosistemas que tiene algunas consecuencias no deseadas. Generalmente, con la siembra de varias especies, como trigo o maíz, es común agregar los nutrientes (generalmente el N o el P) que este cultivo va a necesitar varios meses después. Esto se hace por un motivo práctico y económico, pero tiene consecuencia ecológicas muy claras. Este fertilizante, es procesado por los microorganismos del suelo y (en el caso del N) transformado en nitratos mucho antes que existan demandantes para el mismo. Por lo tanto, éste queda en la solución del suelo y, si las condiciones

son desfavorables, es arrastrado por el agua de lluvia. La falta de sincronización entre estos procesos y las necesidades de las plantas, la existencia de recursos (nichos) disponibles y la poca capacidad de aprovechar los recursos en los agroecosistemas, junto con el hecho de la aplicación de fertilizantes, determina que el riesgo de lixiviación de nutrientes en los AES sea mayor que en los EN, donde prácticamente esto no ocurre.

A su vez, el fraccionamiento espacial de los agroecosistemas y la ausencia de vegetación en algunos períodos del año (barbecho) genera graves problemas de erosión o riesgos de erosión en los agroecosistemas que son generalmente poco comunes en los EN. En los AES los ciclos son abiertos y generan importantes pérdidas.

El manejo de los agroecosistemas debe buscar hacer más eficiente el uso de los recursos, tal vez mediante un aumento de la biodiversidad espacial y temporal. La presencia de ciertos niveles de vegetación espontánea podría, por ejemplo, reducir la erosión, disminuir el lixiviado de nutrientes y generar un aumento en la eficiencia de la captación de la energía con lo que aumentaría la acumulación de Carbono en el sistema.

Este es sólo uno de los ejemplos donde un mayor conocimiento de los procesos que ocurren en un agroecosistema puede ayudar a hacerlos más eficientes y conseguir mantener niveles altos de productividad con mínimas pérdidas de eficiencia y bajo impacto ambiental.

En este capítulo, se ha intentado demostrar la importancia de abordar el conocimiento de los agroecosistemas como sistemas complejos cuyas propiedades están determinadas por sus componentes y las interrelaciones entre ellos, dentro de un marco de manejo donde está el hombre íntimamente inserto en un contexto sociocultural que determina la manera en que toma sus decisiones.

El manejo sustentable de los agroecosistemas requiere mejorar nuestro entendimiento sobre los mismos. Hemos intentado en este capítulo aportar algunos elementos al respecto.

Altieri MA & CI Nicholls (1999) Biodiversity, ecosystem function,and insect pest management in agricultural systems. In Biodiversity in Agroecosystems, WW Collins & CO Qualset, (Eds), CRC Press: 69-84.

Altieri MA (1997) El Agroecosistema: determinantes,recursos, procesos y sustentabilidad. En MA Altieri (Ed) Agroecología: bases teóricas para una agricultura sustentable. 87-115.

Austin RB, J Bingham, RD Blackwell, LT Evans, MA Ford, CL Morgan & M Taylor (1980) Genetics improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. J Agric Sci 94:675-689.

Bayliss-Smith TP (1982) The ecology of agricultural Systems. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 112 pp.

Cox GW (1984) The linkage of inputs to outputs in agroecosystems. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds) 1984. Agricultural Ecosystem: Unifying concepts. J Willey & Sons. New York:187-208.

Elliott ET & CV Cole (1989) A perspective on agroecosystem science. Ecology 70(6): 1597-1602.

Hart RD (1985) Conceptos básicos sobre agroecosistemas. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp 67-78.

Hector A, B Schmid, C Beierkuhnlein, MC Caldeira, M Diemer, PG Dimitrakopoulos, JA Finn, H Freitas, PS Giller, J Good, R Harris, P Högberg, K Huss-Danell, J Joshi, A Jumpponen, C Körner, PW Leadley, M Loreau, A Minns, CPH Mulder, G O'Donovan, SJ Otway, JS Pereira, A Prinz, DJ Read, M Scherer-Lorenzen, ED Schulze, ASD Siamantziouras, EM Spehn, AC Terry, AY Troumbis, FI Woodward, S Yachi & JH Lawton (1999) Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. Science (286):1123-1127.

Lugo AE & YGL Morris (1982) Los Sistemas ecológicos y la humanidad. Monografía Nº 23. Serie de Biología OEA. 82 pp.

Mitchell R (1984) The ecological basis for compartive primary production. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds) 1984. Agricultural Ecosystem: Unifying concepts. J Willey & Sons. New York:13-53.

Murdoch WW (1975) Diversity, complexity, stability and pest control J. Appl. Ecol. 12: 795-807.

Odum EP (1972) Ecología. Tercera Edición, Editorial Interamericana, México, 639 pp.

Odum EP (1984) Properties of agroecosystems. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds) 1984. Agricultural Ecosystem: Unifying concepts. J Willey & Sons. New York:5-11

Odum E (1998) Conceptos de ciclos biogeoquímicos y factores limitantes, Cap. 4. Ecología: El vínculo entre las ciencias naturales y las sociales. Vigésima reimpresión, Compañía Editorial Continental, México: 115-149.

Olson R & Ch Francis (1995) A hierarchical framework for evaluating diversity in agroecosystems. In: Olson R, CH Francis & S Kaffka (Eds.) Explore the role of diversity in sustainable agriculture, ASA, CSSA, SSA, Madison: 5-34.

Pimentel D, G Berardi & S Fast (1986) Energy efficiencies of farming wheat, corn and potates organically. In Organic farming: Current technology and its role in a sustainable agriculture, ASA Special Publication Nº 46, Madison, USA: 151-161.

Pimentel D, W Dazhong & M Giampietro (1990) Technological changes in energy use in US Agricultural Production. In: SR Gliessman (Ed.) Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture. Springer Verlag: 305-322.

Shiva V (1996) Monocultivos de la mente. En: Monocultivos y biotecnología (amenazas a la biodiversidad y la supervivencia del planeta). Instituo del Tercer Mundo (ITEM), Uruguay: 9-61.

Siddique KH, RK Belford & D Tennant (1990) Root: shoot rations of old and modern, tall semi dwarf wheats in a mediterranean environment. Plant and Soil 121:89-98.

Southwood TRE, VK Brown & PM Reader (1979) The relationship of plant and insect diversities in succession. Biol. J. Linn. Soc., 12: 327-348.

Tivy J (1990) Agricultural Ecology. Longman Scientific & Technical, UK, 287 pp.

Toledo VM (1994) Tres problemas en el estudio de la apropiación de los recursos naturales y sus repercusiones en la educación. En: Ciencias Sociales y Formación Ambiental. E Leff (compilador), Editorial Gedisa, Barcelona, España: 157-180.G.

UNEP (1997)The Biodiversity Agenda. Decisions from the third Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. Second Edition, Beunos Aires, Argentina, 4-15 Nov, 1996. 116 pp.

Viglizzo EF (1994) The response of low-input agricultural systems to environmental variability. A theoretical approach. Agricultural systems 44:1-17.

La coleopterofauna edáfica y su relación con la calidad del suelo

Mariana Marasas

1. La biodiversidad edáfica

En la actualidad, existe un marcado consenso de que el mantenimiento y/o aumento de la productividad debe estar acompañado de la preservación de los recursos naturales. El manejo de los sistemas agrícolas, tendientes a un desarrollo sustentable, requiere abordar el estudio de los agroecosistemas como sistemas biológicos diversos y complejos, considerando todos sus componentes, tanto biológicos, como físicos, y socioeconómicos), de manera de evaluar el impacto ambiental que éstos producen. En este contexto, el conocimiento de las interacciones entre los componentes bióticos entre sí, y de éstos con el conjunto de los factores abióticos, es utilizado en la moderna ecología aplicada para estimar la situación de equilibrio de un determinado agroecosistema y garantizar, de esta manera, su sustentabilidad estableciendo los límites de tolerancia y el poder de amortiguación.

Un elemento importante en la comprensión de dicho equilibrio es poder interpretar la biodiversidad de los agroecosistemas. Esta, no sólo depende, de su composición biológica particular, sino también, de las relaciones que se establecen entre el suelo, los cultivos y la fauna asociada. Además, se deben tener en cuenta, las características de los sistemas que rodean al cultivo, como las borduras, los ambientes naturales circundantes y las condiciones climáticas y estacionales. Estas complejas interacciones, donde cada uno de sus componentes está íntimamente vinculado con el otro, permite interpretar el agroecosistema a partir de los subsistemas que lo componen y sus diferentes niveles de agregación.

El suelo es uno de los subsistemas más importantes, ya que es el sustrato y la fuente de nutrientes para los cultivos. Cuando definimos la *calidad del suelo*, como su capacidad para conservar la productividad en el tiempo, de manera de obtener cultivos sanos, con un buen rendimiento, con una mínima dependencia de insumos externos y con el menor impacto negativo sobre el ambiente, nos estamos refiriendo al mantenimiento del "equilibrio biológico" necesario para lograr un suelo vivo que mantenga sus potencialidades y mejore las condiciones para el buen desarrollo de los cultivos. Esto se logra entendiendo que el manejo del suelo no es esencialmente químico-mecánico, sino más bien biológico-físico, intentando reconstruir los equilibrios naturales perdidos (Primavesi, 1982).

Es en el suelo donde reside una gran diversidad de especies animales, y es allí, donde dichas especies son las responsables de cerrar el ciclo de la vida. Esta diversidad de seres actúa, por un lado, destruyendo todos los residuos orgánicos y desechos, para volver a incorporarlos y hacerlos disponibles y, por el otro, proveyendo los nutrientes necesarios para las plantas. De este ciclo de formación y degradación depende toda la vida del planeta y ocurre gracias a los organismos que viven en él.

Dichos organismos tienen variados efectos sobre los procesos que ocurren en el agroecosistema. El hombre en su hábito de clasificar, ha logrado agrupar esta gran diversidad según diferentes criterios, de manera de poder estudiar y comprender mejor dicha complejidad, aunque a veces al costo de perder la visión integradora de las complejas interacciones entre las comunidades biológicas. La forma más sencilla de agrupar la diversidad edáfica es según el tamaño, aspecto muy vinculado al tipo de interacción con el ambiente al cual pertenece (Blair *et al.*, 1996):

1. La microflora y microfauna (hasta 100μ) incluye a los microorganismos como bacterias y hongos, protozoos y nematodes, entre otros. Estos organismos son tan pequeños, que sólo pueden verse al microscopio y su vida está circunscripta principalmente a la película de agua entre y dentro de los microporos del suelo.

2. La mesofauna (100μ a 2mm) incluye por ejemplo a los ácaros y colémbolos. Muchos son visibles al ojo humano. Dichos organismos tienen movimientos libres dentro y sobre el suelo, sin limitaciones de espacio.

3. La macrofauna (2mm a 20mm), incluyendo en ella a los coleópteros, lombrices y arañas, como los grupos mejor representados. No tienen límite de movimiento ligado a la presencia de poros en el suelo. Pueden realizar perforaciones y galerías aumentando los espacios disponibles para la circulación del agua y el aire.

A fin de entender las complejas interacciones y roles de la fauna edáfica se han creado diferentes categorías, organizándolas en "grupos funcionales" (Verhoef & Brussaard, 1990), según criterios vinculados al hábitat y/o alimentación. Avanzando en un conocimiento más integrador de dichos grupos, Brussaard (1998), teniendo en cuenta el ambiente físico, la calidad del recurso y los organismos vivos, estableció esferas de influencia de los animales del suelo, distinguiendo tres gremios: los organismos que viven asociados a las plantas, la microvida asociada a la permanente regulación del número y actividad de microorganismos y la fauna que crea microhabitats ("ingenieros del ecosistema") para otros organismos del suelo.

Todos estos roles y esta diversificación de las funciones que ocurren en el suelo dependen de un gran factor limitante: el alimento disponible en la cadena alimentaria. Por lo tanto, entre otros factores, dicha diversidad estará íntimamente relacionada a la cantidad de materia orgánica existente en el sistema.

La presencia de la materia orgánica en los agroecosistemas depende directamente de la intensidad de las prácticas agrícolas. Dicha intensidad es máxima cuando la materia orgánica es extraída del sistema (cosecha de cultivos, extracción de rastrojos y malezas),

en contraposición con aquellas prácticas conservacionistas en donde se mantiene parte de la biomasa en el terreno, como en los caso de la siembra directa, diversificación de cultivos y el mantenimiento de otras especies no cultivadas. Por lo tanto, la presencia de la fauna edáfica dependerá de las prácticas agrícolas utilizadas y de las estrategias de diseño de los sistemas de cultivo, tanto espaciales como temporales.

La mayoría de la bibliografía relacionada con estos "gremios o grupos funcionales" está definida para determinados grupos taxonómicos como son las bacterias, hongos, protozoos, nemátodos, ácaros, colémbolos, lombrices y arañas, pero poco se conoce sobre la presencia y el rol de uno de los grupos más numerosos dentro de la artropodofauna del suelo, como es el perteneciente al Orden Coleoptera, tanto en sus estados adultos como larvales.

2. El suelo y la coleopterofauna

Dentro de la macrofauna los coleópteros son un grupo numeroso, bien representado, con una considerable riqueza y diversidad, que junto a los dípteros e himenópteros, constituyen más de los dos tercios de la artropodofauna existente en cualquier agroecosistema. Su presencia en el agroecosistema está repartida en todos los niveles tróficos (Thomas & Wratten, 1988; Primavesi, 1982; Gassen, 1989). Comprende más de 100 familias, siendo las mejor representadas en estos sistemas las pertenecientes a Carabidae, Scarabeidae, Staphylinidae, Tenebrionidae y Elateridae.

La mayor parte de sus especies poseen tamaños desde mediano (2mm) a grande (40mm), fácilmente visibles y fáciles de capturar con metodologías entomológicas sencillas tales como trampas de luz y "pitfall". A pesar de poseer estas cualidades, son poco considerados en el estudio de las complejas cadenas tróficas del suelo, principalmente en el ámbito sudamericano. Probablemente esto se deba a numerosos aspectos que complican la comprensión de su comportamiento, como aquellos relacionados con la fenología estacional, patrones de reproducción y apareamiento, hibernación y/o estivación, la búsqueda de refugio y las estrategias para la alimentación, tanto en estado larval como adulto.

La familia Carabidae, es la más numerosa, respecto de las demás familias de Coleoptera. Hay más de 5000 especies descriptas para la región neotropical, repartidas en 86 tribus, de las cuales 41 están presentes en la Argentina, y de ellas 29 en la provincia de Buenos Aires, con más de 310 especies (Cicchino, inédito., 1995). Esta riqueza específica presupone una enorme diversidad de hábitos y hábitats ocupados en forma permanente o transitoria. De todas formas, puede decirse que los representantes de esta familia, la más numerosa de los Coleoptera, tienen hábitos fundamentalmente ligados al suelo, y por estas características, reciben el nombre ampliamente difundido de "Ground Beetles" ("escarabajos de suelo").

En lo que atañe a su aspecto general, pueden separarse distintos morfos o "formas"

corporales, caracterizados por particulares conformaciones anatómicas que representan adaptaciones idóneas a los distintos nichos, principalmente en función del sitio donde se alimenta cada especie y la calidad de la presa o alimento preferencial. Aún en el caso de desconocer sus hábitos fundamentales y los ambientes que frecuenta, la interpretación detallada de las adaptaciones del morfo corporal nos indica el tipo de hábitat en el cual vive y el tipo de desplazamiento que posee cada especie.

Para su mejor comprensión, se las agrupó en especies hipógeas, superficiales y epifíticas, considerando, por un lado, sus adaptaciones edáficas y, por el otro, el lugar donde se alimentan. Según éste criterio, las especies mejor representadas en los agroecosistemas muestreados dentro del cinturón verde del partido de La Plata, provincia de Buenos Aires (Marasas *et al.*, 1997a; 1997b), se describen y enumeran a continuación (Figura 1):

Hipógeas: consumen sus presas en túneles o grietas del suelo a profundidades por lo regular desde 2cm hasta más de 50cm. Son especies fuertemente *fosoras,* de cuerpo casi cilíndrico, con curiosos hábitos de predación en la superficie del terreno y consumición de las presas obtenidas dentro de los túneles que cavan, y donde pasan la mayor parte del tiempo. Comprende tanto especies de tamaño grande (más de 2cm) como las del género *Scarites* y de tamaño mediano y pequeño como *Clivina* y *Aspidoglossa.*

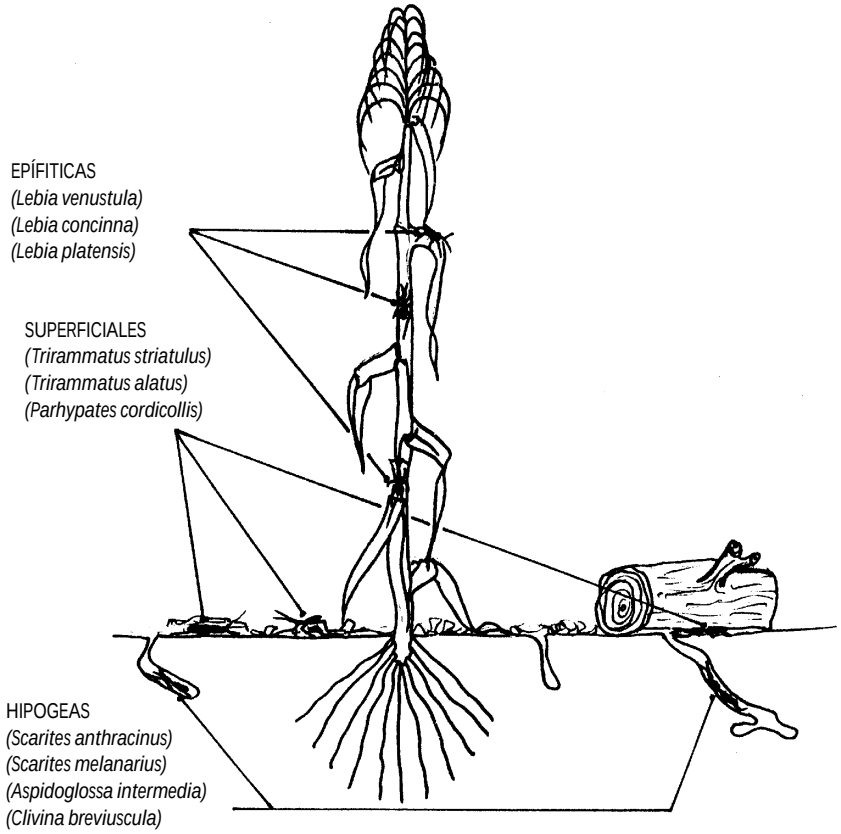
Superficiales: ingieren sus presas en la superficie del suelo (debajo del mantillo, troncos, etc.) o bien a una profundidad menor a los 2cm. Estas especies son fundamentalmente cursoras superficiales, bastante veloces, todas ellas depredadoras, aunque algunas son semifosoras o bién ocupan túneles construidos por otros coleópteros. A este grupo pertenecen especies de tamaño mediano a grande (11-22mm) como las del género *Trirammatus* y aquellas del subgénero *Parhypates (Paranortes).* Entre las especies de tamaño grande y muy grande (más de 25mm de largo) está el género *Calosoma,* activas depredadoras superficiales, que hibernan en túneles u oquedades y, por lo tanto, se comportan como especies fundamentalmente estivales y otoñales. Entre las especies de tamaño pequeño, depredadoras de Colémbolos o Acarina, diurnas o nocturnas están las del género *Notaphus,* sumamente frecuentes en cultivos con abundante disponibilidad de materia orgánica. Se encuentran, en menor proporción, especies seminívoras, graminívoras, fitófagas en general, algunas detritívoras vegetales y otras ubicuistas omnívoras. Comprenden especies de tamaño grande (15-19mm), medianas y pequeñas como las del género *Notiobia, Metius* y *Selenophorus.*

Epifíticas: son aquellas que ingieren sus presas sobre soportes vegetales erectos, herbáceos o arbustivos. En los agroecosistemas de la provincia de Buenos Aires son comunes las especies, fundamentalmente diurnas y de tamaño pequeño a mediano, pertenecientes a los géneros *Lebia* (13 especies) y *Calleida* (3 especies).

Debemos aclarar que esta simple división en 3 categorías no es absoluta, existiendo numerosas especies, o aún grupos enteros, cuyos hábitos no pueden encuadrarse exactamente en estas categorías.

Figura 1

Discriminación de las especies de Carabidae según sus sitios preferenciales de alimentación (especies epifíticas, cursoras superficiales y especies hipógeas).



Todo lo expuesto se convierte en una información necesaria, en el momento de decidir interpretar el rol, la importancia e influencia de estos organismos sobre la calidad del suelo.

3. El rol de los coleópteros como mejoradores de las condiciones del suelo

Hay un interés reciente en caracterizar la biodiversidad del suelo y su función en los sistemas agrícolas (Bardgett & Cook, 1998) vinculado a la necesidad de desarrollar estrategias de manejo más conservacionistas. La entomofauna del suelo integra diferentes grupos tróficos, cuyos roles son importantes en los procesos que ocurren en el agroecosistema. La conservación de dicha biodiversidad favorecería el equilibrio del sistema y su autorregulación.

Los coleópteros cumplen importantes funciones en el agroecosistema. Muchos de sus integrantes se comportan como predatores específicos o inespecíficos de numerosos insectos considerados como plagas en los cultivos (Tyler & Ellis, 1979; Sotherton, 1984), es el caso de muchos Carabidae, Staphylinidae, Histeridae, etc. Otros, por su actividad trófica particular, intervienen en la incorporación de materia orgánica en sus fases iniciales (formas fitófagas), intermedias (formas detritívoras) o finales (omnívoras y predatoras). Todos ellos actúan en la degradación y descomposición de la materia orgánica, y por ende en el reciclado de nutrientes del suelo (Brussaard, 1998). Muchos, son también responsables de la formación de galerías que favorecen la estructura del suelo aumentado la aireación, infiltración del agua y penetración de las raíces.

Todos estos aspectos hoy de importancia insoslayable, se hallan poco documentados en la literatura internacional (Alderweireldt *et al*., 1991; Primavesi, 1991; Stinner & House, 1990), y falta información para los agroecosistemas argentinos en general y para los locales en particular.

La calidad del suelo, por lo tanto, se ve favorecida por las numerosas actividades y procesos vinculados a estos organismos. A continuación, se describen las funciones y/o roles más relevantes para los grupos descriptos:

3.1. Como mejoradores de la estructura y fertilidad del suelo

A través de sus secreciones y deyecciones promueven la activación de la microvida, colaborando en la movilización de nutrientes y la estructura del suelo.

Las comunidades de bacterias y de hongos juegan un importante rol en la descomposición de los residuos y la liberación de nutrientes. Sin embargo la estructura y función de las comunidades de microorganismos no están solo vinculadas a las características de la materia orgánica, suelos, clima, etc. sino que también dependen de otros factores relacionados con la diversidad del suelo que determinan las condiciones para que ellos se desarrollen.

En general los trabajos se han llevado a cabo a partir del conocimiento de éstas comunidades de microorganismos (bacterias y hongos), nemátodos, anélidos y otros microartrópodos que se alimentan de tejidos y detritus, además de materia orgánica muerta y de la hojarasca de las plantas (Brussaard, 1998), pero poco se conoce sobre el rol de la macrofauna asociada al orden Coleoptera en las funciones arriba descriptas. Se piensa que los coleópteros y otros insectos solo tienen importancia en el control de plagas, sin embargo, este grupo también cumple una función importante en la creación de un microhabitat edáfico propicio para el desarrollo de aquellas comunidades directamente involucradas en la degradación de la materia orgánica.

Son muchos los mecanismos por los cuales la coleopterofauna edáfica podría intervenir en la degradación de la materia orgánica. Desde el punto de vista trófico, aparecen los organismos saprófagos, detritívoros y coprófagos que se alimentan de la misma, degradándola y

así, poder ser atacada posteriormente por hongos y bacterias. Familias como Aphodiidae, Scarabeidae, Elateridae y algunas especies de Carabidae, intervienen en la descomposición de la materia orgánica alimentándose de residuos vegetales, raíces muertas, animales muertos, excremento animal, etc., siendo eslabones importantes dentro de la cadena alimentaria, ya que aportan al *reciclaje de nutrientes* y a la incorporación de los mismos al suelo.

También, tomando como ejemplo a los carabidos, existen, por un lado, grupos específicamente fitófagos y granívoros que gracias a su hábito alimenticio, consumen la materia orgánica dejando expuesto material particulado y restos del alimento ingerido, que facilitan su descomposición, y por el otro, los predatores que se alimentan de presas de diferentes tamaños y al fragmentarlas con sus aparatos bucales, favorecen el proceso de degradación ya que aumentan la superficie de ataque para otros microorganismos. Por último, se debe considerar que existen grupos predatores con digestión extraoral como los Staphylinidae y numerosas tribus de Carabidae, que liberan al medio enzimas responsables de la digestión, previo a la ingesta de la presa capturada. Esta estrategia alimenticia, con secreciones y jugos que actúan en el medio, promoverían la regulación de las poblaciones bacterianas al generar microhábitats específicos. Además de colaborar con la creación de condiciones óptimas para la formación de "grumos" o agregados que permiten la existencia de macroporos que mejoran la estructura del suelo.

3.2. Como mejoradores de la física del suelo

Revolviendo y cavando el suelo, con la formación de galerías y cuevas, que facilitan la circulación del aire y agua.

Los coleópteros, y en particular las especies de la familia Carabidae, intervienen en el mejoramiento de las cualidades físicas del suelo debido a la actividad mecánica ejercida por el desplazamiento superficial o profundo de aquellas especies parcial o totalmente fosoras, tanto en sus estados larvales o como adultos.

Numerosas especies representadas en nuestros agroecosistemas templados construyen galerías subterráneas de hasta 30cm o más de profundidad, siendo éste el lugar de hibernación para larvas y adultos. Durante la época primaveral o estival temprana (de mayor actividad), arrastran hasta allí a su presa para alimentarse. Esta actividad fosora se realiza principalmente en aquellos sustratos medianamente estables, para evitar su desmoronamiento, también tiene lugar en suelos compactados, ya que las adaptaciones anatómicas (forma del cuerpo y patas fosoras) les permiten excavar con facilidad. Esta particularidad los diferencia de las lombrices que necesitan sustratos con determinadas cualidades para su supervivencia, lo que determina que sus requerimientos sean mucho más estrictos.

Otras especies semifosoras o cursoras superficiales que se desplazan entre las anfractuosidades del suelo removiéndolas, actúan como mejoradores de las capas superficiales del

mismo. Dichas actividades favorecen la aireación e infiltración del agua, y crean condiciones más favorables para un buen crecimiento de las raíces de las especies cultivadas.

3.3. Mantenimiento del equilibrio y regulación del sistema

Actúan, tanto larvas como adultos, como enemigos naturales de aquellos organismos considerados plagas e intervienen en diferentes niveles de la cadena trófica.

Este grupo, se caracteriza principalmente por integrar determinados niveles tróficos, dentro de las complejas redes que conforman los agroecosistemas. Principalmente, se los localiza y se los estudia en los niveles superiores, cumpliendo la función de consumidores, ya que intervienen dentro de los sistemas cultivados controlando a los herbívoros, esto es, transformándose en enemigos naturales de plagas reales o potenciales. Familias como Carabidae y Staphylinidae son excelentes predatoras e integran la trama trófica alimentándose de los organismos disponibles en el sistema. Estos dos grupos poseen una predación diferencial en función de la calidad del alimento seleccionado, del comportamiento de búsqueda y de la calidad del sustrato frecuentado.

Según las especies, las piezas son destrozadas con las mandíbulas y luego inmediatamente ingeridas *"in situ"* (digestión intraoral), o bien inmovilizadas con la liberación de jugos digestivos (digestión extraoral) y luego consumidas, o arrastradas y consumidas en sus cuevas. Debemos recordar que las especies de las familias Staphylinidae y Carabidae, en general, no compiten entre sí por el espacio ni por la calidad de la presa en los mismos ambientes, teniendo inclusive distintos comportamientos de búsqueda, o patrullando en distintos microambientes o sustratos.

Sin embargo, como se dijo anteriormente, dichos grupos pueden integrar otros eslabones de la cadena, con roles seminívoros o detritívoros aportando a la descomposición de materia muerta u otros desechos orgánicos. Por lo tanto, redimensionar su importancia y su participación en la regulación del sistema, asegurando el equilibrio ecológico, es un aspecto a considerar en los próximos estudios a abordar bajo un enfoque agroecológico.

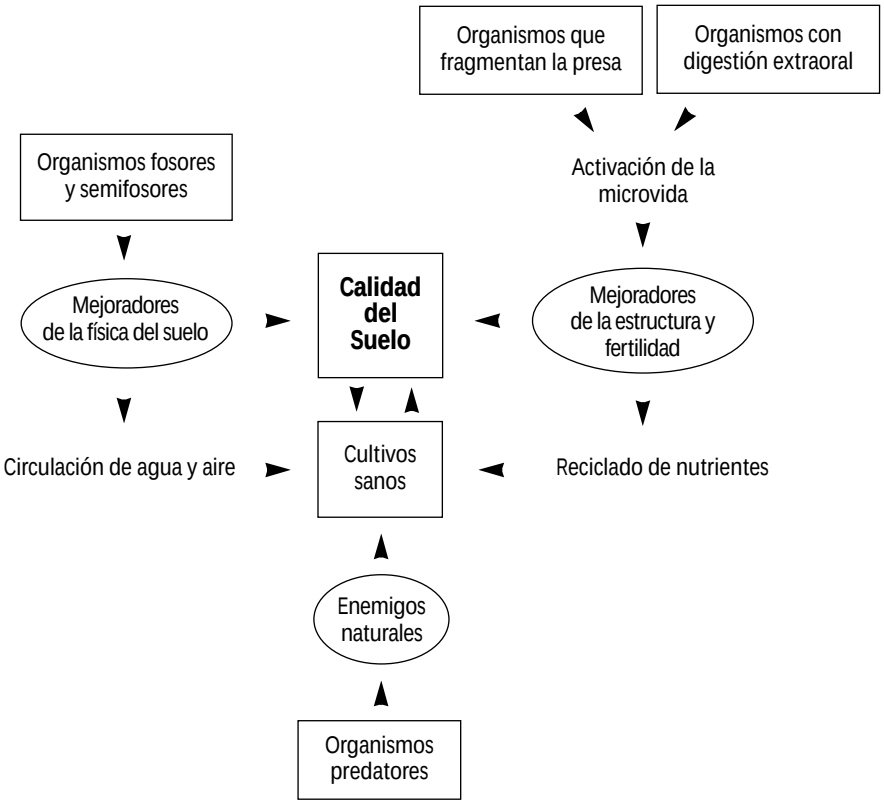
En el siguiente esquema (página 143) se observan los roles ecológicos de la coleopterofauna edáfica y las interacciones entre los componentes abióticos del agroecosistema.

4. Las prácticas agrícolas pueden alterar y modificar la presencia de dichos organismos

Las prácticas agrícolas convencionales tienden, por lo general a alterar la estabilidad numérica de las poblaciones de coleópteros del suelo. En el marco de dichas prácticas (uso continuo de pesticidas, fertilizantes químicos, distintos tipos de labranza) se generan efectos negativos directos sobre la comunidad de organismos del suelo, alterando su

Esquema 1

Roles ecológicos de la coleopterofauna edáfica y las interacciones entre los componentes abióticos del agroecosistema.



funcionamiento y por ende, el equilibrio del agroecosistema.

A continuación se describen tres ensayos del efecto de algunas prácticas agrícolas, realizadas por los productores, sobre la abundancia y diversidad de la coleopterofauna edáfica en distintos sistemas de cultivo. Para la recolección de los organismos se usaron trampas "pitfall" de manera de capturar las especies que se desplazan en la superficie. Las experiencias se realizaron en el Partido de La Plata (35º LS), Provincia de Buenos Aires, Argentina. La región se caracteriza por un clima templado húmedo con un promedio de precipitaciones de 1000 mm anuales, sin estación seca.

4.1. Acción de los pesticidas

El uso continuo de pesticidas genera efectos negativos directos sobre la comunidad de organismos del suelo, relacionados con su toxicidad, persistencia y bioacumulación en

la cadena alimentaria (Freitag, 1979; Wegorek & Trojanowski, 1985).

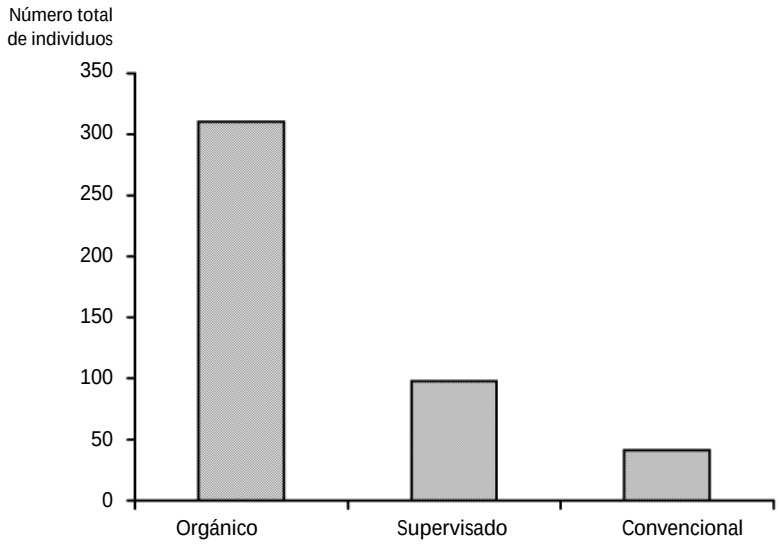
Con el objetivo de observar el efecto del uso de pesticidas sobre la coleopterofauna del suelo, se realizó una experiencia en un cultivo de frutilla (*Fragaria ananassa,* Duch) para tres tratamientos que diferían en la intensidad de la aplicación de pesticidas:

Un *tratamiento orgánico* sin aplicación de pesticidas, un *tratamiento supervisado,* en el cual las aplicaciones fueron reguladas de acuerdo a la aparición de la plaga, y un *tratamiento convencional,* con prácticas habituales en los productores de la zona, usando agroquímicos en forma preventiva, sin ningún tipo de regulación.

La abundancia de los coleópteros, fue significativamente mayor en la parcela sin pesticidas, decreció en la supervisada y fue aún menor en la parcela convencional (Figura 2).

Figura 2

Número total de individuos de coleópteros capturados en todos los muestreos, para los tratamientos orgánico, supervisado y convencional en un cultivo de frutilla.

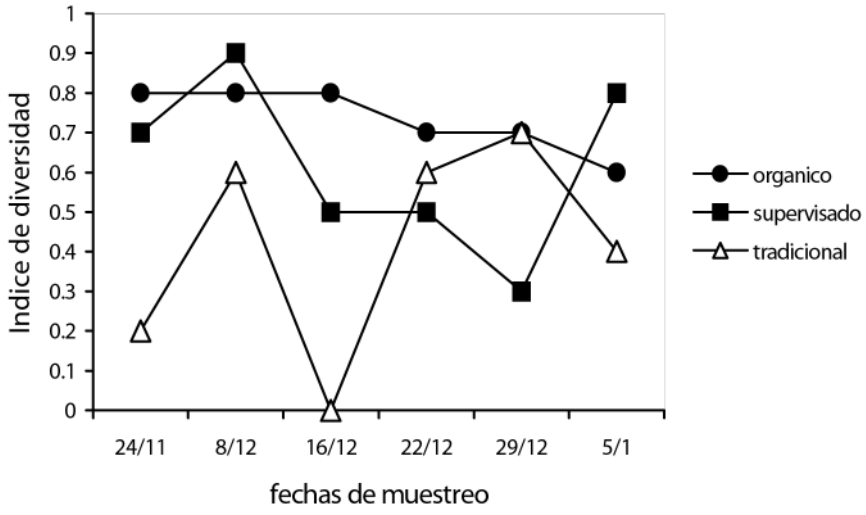


Estos resultados demuestran que la intensidad en el uso de pesticidas influye en la fauna de coleópteros del suelo. Los valores del índice de diversidad fueron más altos en el tratamiento orgánico y mantuvieron sus valores relativamente estables en el tiempo, con respecto a los tratamientos supervisado y convencional, cuyos valores fueron más fluctuantes (Figura 3, página 145).

De acuerdo a Blumberg & Crossley (1983), el comportamiento observado en la parcela orgánica reflejaría una mayor "estabilidad" del agroecosistema.

Figura 3

Diversidad de los coleópteros muestreados para los tratamientos orgánico, supervisado y convencional en un cultivo de frutilla, calculado por medio del índice de diversidad de Shannon.



4.2. Efectos de la fertilización orgánica y convencional

La fertilización es uno de los factores que condiciona la presencia de los organismos del suelo (Primavesi, 1982; Alzugaray *et al.*,1993).

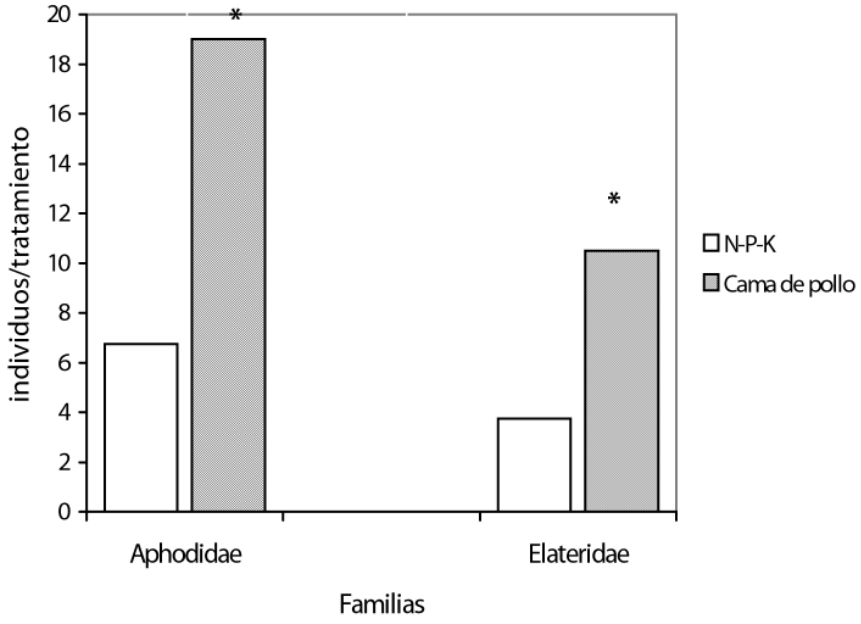
En un cultivo experimental de frutilla se realizaron dos tratamientos: a) aplicación de fertilizante inorgánico con nitrógeno, fósforo y potasio (15-15-15) en un equivalente a 80 $kg.ha^{-1}$ y b) fertilización con cama de pollo a razón de 20 $TM.ha^{-1}$, la cual se distribuyó uniformemente en la superficie de las parcelas. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos, observándose que en las parcelas donde se fertilizó con nitrógeno, fósforo y potasio, el número de individuos de coleópteros (87 individuos) fue significativamente menor que en el tratamiento con fertilización con cama de pollo (487 individuos). Dentro de las familias halladas, las de hábitos predominantemente detritívoros, estuvieron representadas por los Aphodiidae y Elateridae, con diferencias significativas en el número de individuos en ambos tratamientos (Figura 4, página 146).

La presencia de estiércol, residuos vegetales, restos de semillas y alimentos, favorece la presencia de algunas familias de coleópteros relacionadas principalmente con los procesos de descomposición de la materia orgánica y su posterior incorporación al suelo (Marasas *et al.*, 1997a).

Figura 4

Número de individuos capturados de las familias Aphodidae y Elateridae, para los tratamiento con cama de pollo y N-P-K, en un cultivo de frutilla.

* Diferencias significativas P<0,05, según prueba de Mann-Whitney.



4.3. Efectos de los tipos de labranza

Los distintos tipos de labranza alteran la estabilidad del suelo modificando probablemente las condiciones que favorecen la permanencia de los coleópteros, y en particular aquellos que pertenecen a la familia Carabidae (Cárcamo *et al.*, 1995). En esta experiencia se propuso evaluar la fauna de carabidos del suelo comparando dos sistemas de labranza, uno convencional con reja y vertedera (LC) y otro con siembra directa (SD), en un ensayo experimental de trigo.

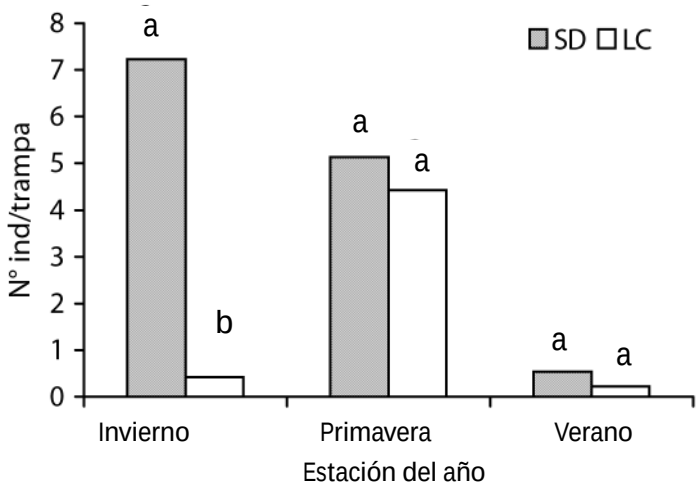
Se capturaron durante el período de muestreo un total de 2740 individuos de coleópteros, observándose que en la siembra directa su número fue significativamente mayor que en la labranza convencional, haciéndose más evidente en el período invernal del cultivo coincidente con el impacto reciente del arado (Figura 5, página 147). Para la primavera las diferencias entre ambos sistemas tendieron a desaparecer. En la LC se observó una recuperación numérica. Para esta época, las condiciones de dichas parcelas tienden a igualarse con las de SD principalmente en lo que se refiere a la cobertura del suelo, lo que genera condiciones favorables para la colonización de nuevos individuos. Esto es acompañado del carac-

terístico incremento numérico, propio del período primaveral, debido a que numerosos carabidos emergen de la pupación y se incrementa su actividad (Marasas *et al.*, 1997b). Posteriormente el número disminuye en ambos casos para el verano (Figura 5), posiblemente debido a las altas temperaturas e insolación imperantes (Niemelä *et al.*, 1992).

Figura 5

Número de individuos de carabidos capturados en los sistemas de labranza (SD y LC), en un cultivo de trigo para cada estación del año.

Las barras dentro de cada época, con la misma letra, no difieren estadísticamente entre sí según Tukey al 0,05 de probalidad.



Estos ejemplos demuestran que las prácticas agrícolas convencionales (uso de pesticidas, fertilización inorgánica y el arado) alteran la presencia de la macrofauna del suelo, originando una considerable disminución con respecto a aquellas prácticas de tipo agroecológicas.

Es así, que se hace necesario cada vez más, estimular estrategias que conduzcan a preservar dicha fauna, manteniendo distintos reservorios de biodiversidad a través del diseño de los agroecosistemas, por ser estas estrategias, decisivas para una actividad agrícola más sustentable.

5. Prácticas que recuperan o restauran la biodiversidad edáfica

En este contexto, numerosos autores proponen estudiar las condiciones necesarias para favorecer la biología y dinámica de los insectos benéficos (Altieri & Letourneau,

1982; Altieri, 1992; Thomas *et al.*, 1991), creando hábitats alternativos a partir del diseño de los sistemas de cultivo, de manera de mantener los reservorios de biodiversidad. Esto incluye al cultivo, las borduras, los ambientes naturales cercanos, así como los criterios que adopta el productor en el manejo del agroecosistema.

Para comprender la actividad y el comportamiento de dichas especies, no solo es necesario describir y entender los aspectos relacionados a sus hábitos alimenticios, sino también, se hace imprescindible conocer la fenología estacional de al menos las especies más representativas, ya que muchas son de hábitos invernales, mientras que otras tienen su mayor actividad en primavera. Este conocimiento es fundamental cuando se intenta entender su rol agroecológico y la forma en que intervienen e interactúan en el sistema. Dentro de dichas actividades es importante reconocer cuales son los lugares que seleccionan para hibernar, el territorio de caza y el sitio de alimentación, sumado a la elección del área de reproducción y de cría.

Es un desafío lograr diseñar agroecosistemas que respeten dichos hábitats sin modificarlos al extremo que implique su completa eliminación del sistema.

5.1. Presencia de borduras o margenes y parches o islas con vegetación natural dentro y fuera del cultivo

Al estudiar la distribución temporal y espacial de las especies de la familia Carabidae se halló que el número de capturas varía con el año, la estación y el hábitat (French & Elliot, 1999). Considerar la susceptibilidad de estas especies a dichas variables, reafirma la complejidad de su estudio y la necesidad de analizar el sistema en su conjunto y no sus componentes individuales. Los autores previamente mencionados, aseguran que la estructura del paisaje es un componente determinante en la distribución espacial y temporal de los escarabajos. Su abundancia y diversidad se ve reducida en campos cultivados convencionalmente, como en el caso del monocultivo, donde el paisaje está simplificado, y dichas especies carecen de ciertos requerimientos mínimos tales como el alimento, sitios de apareamiento y refugio.

En tierras cultivables, las familias del Orden Coleoptera (Staphylinidae y Carabidae) tienen una dependencia estacional con el hábitat generado en los bordes del campo (Dennis *et al.*, 1994). Además, se demostró que diferentes tipos de borduras proveen hábitat para la hibernación de especies predatoras (Sotherton, 1985). Se ha estudiado la influencia de la estructura de la vegetación sobre la abundancia de algunas especies de coleópteros predatores, demostrando que existe una activa selección del hábitat para alimentación y refugio durante el invierno (Dennis *et al.*, 1994).

Thomas *et al.*, (1991) incrementaron la abundancia de predatores de invierno por la incorporación de bancos o islas de vegetación natural en el sistema cultivado, demostrando que en primavera estos hábitats proveen núcleos de poblaciones de predatores en el centro de los campos cultivados, lugares de dispersión de las especies en primavera.

Sería interesante profundizar el tema e intentar definir según los casos, la distancia óptima necesaria para que dicha dispersión sea positiva en función del tamaño del campo.

Thomas & Marshall (1999) han estudiado diferentes habitats semi-naturales en el paisaje agrícola, en distintos tipos de bordes, por medio del uso de trampas pitfall. Hallaron una correlación entre la diversidad de la fauna y la diversidad de la flora. Arriban también a la conclusión de que la presencia de bordes y márgenes con vegetación natural ayuda a mantener los lugares de hibernación de especies benéficas.

Estos trabajos reflejan que, en la actualidad, se está considerando de suma importancia conocer la fenología y tipo de dispersión de las especies predatoras, determinar la distancia de penetración desde los bordes (sitios de hibernación) hacia el centro del cultivo e investigar los factores que afectan su distribución dentro de y entre los campos (Coombes & Sotherton, 1986).

En grandes superficies, como en el caso de los cultivos extensivos de las pampas argentinas, planificar los campos diseñando las distancias de las borduras hacia el centro del lote, la composición de las mismas y la distribución de parches o islas de vegetación natural, sería un elemento importante a tener en cuenta a la hora de intentar producir con un manejo más ecológico, propiciando una menor dependencia de insumos a través del mantenimiento de los enemigos naturales.

6. Comentario final

Para finalizar, cabría alguna reflexión, respecto de la importancia de los representantes de la fauna edáfica. Ya en el antigüo Egipto, el escarabajo sagrado *(Atheucus sacer)* fue el símbolo de los dijes, joyas y amuletos que abundaron en los atuendos de reyes y dioses y que simbolizaban la gran ley de la transformación, la renovación constante de la existencia y por lo tanto era un emblema de la vida humana. No debemos olvidar, que es en el suelo donde se cierra el ciclo de la vida, y es de este ciclo de formación y degradación que depende toda la vida del planeta y ocurre gracias a los organismos que viven en él, entre los cuales la coleopterofauna descripta en este capítulo, ocupa un lugar destacado. Comprender y respetar estas complejas interacciones desde el campo científico y técnico, ofreciendo un enfoque integrador de los agroecosistemas, será una de las alternativas en un futuro inmediato, para garantizar nuestra supervivencia.

Alderweireldt M, K Desender & M Pollet (1991) Abundance and dynamics of adult and larval Coleoptera in different agro-ecosystems. En: Advances in Coleopterology. M Zunino, X Belles, M Blas. Ed. AEC, Barcelona. pp. 223-232.

Altieri MA (1992) Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas. CETAL (Centro de Estudios de Tecnologías Apropiadas para América Latina y el Caribe). Chile. 162 pp.

Altieri M & D Letourneau (1982) Vegetation management and biological control in agroecosystems. Crop Protection 1, 4: 405-430.

Alzugaray R, S Zerbino, R Cibils, J Coll & G Banchero (1993) Cascarudos de la bosta. Boletín de divulgación Número 42. INIA. Uruguay. 22 pp.

Bardgett RD & R Cook (1998) Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. Applied Soil Ecology 10: 263-279.

Blair JM, PJ Bohlen & DW Freckman (1996) Soil invertebrates as indicators of soil quality. Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America 49: 273-292.

Blumberg AY & DA Crossley Jr (1983) Comparison of soil surface arthropod populations in conventional tillage, no-tillage and old field systems. Agro-Ecosystems 8: 247-253.

Brussaard L (1998) Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. Applied Soil Ecology 9: 123-135.

Cárcamo HA, JK Niemalä & JR Spence (1995) Farming and ground beetles: effects of agronomic practice on populations and community structure. The Canadian Entomologist 127: 123-140.

Cicchino A (1995) Curso de introducción a la carabidología edáfica referida a la Pcia. de Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de Mar del Plata. Buenos Aires, Argentina. 121 pp. (inédito)

Coombes DS & NW Sotherton (1986) The dispersal and distribution of polyphagous predatory Coleoptera in cereals. Ann. Appl. Biol. 108: 461-474.

Dennis P, Thomas MB & NW Sotherton (1994) Structural features of field boundaries which influence the overwintering densities of benefical arthropod. Journal of Applied Ecology 31: 361-370.

Freitag R (1979) Carabid beetles and pollution. In Carabid beetles. Their evolution, natural history and classification. TL Erwin, G Ball, & DR Whitehead (Eds.), Dr. Junk Publishers. 507-521 pp.

French BW & NC Elliot (1999) Temporal and spatial distribution of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in grasslands and adjacent wheat fields. Pedobiologia 43: 73-84.

Gassen DN (1989) Insetos subterraneos perjudiciais as culturas no sul do Brasil. En: EMBRAPA-CNPT, documento 13. pp. 1-72.

Primavesi A (1982) Manejo ecológico del suelo. Ed. Ateneo. 499 pp.

Primavesi A (1991) Agricultura sustentavel. Manual do productor rural. Ed. Nobel. 143 pp.

Marasas ME, AC Cicchino & MI Urrutia (1997a) Variación numérica de los coleópteros del suelo en un cultivo de frutilla sujeto a fertilización orgánica y convencional. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. 102 (1): 81-86.

Marasas ME, Sarandón SJ & Cicchino AC (1997b) Efecto de la labranza convencional y siembra directa sobre la coleopterofauna edáfica en un cultivo de trigo, en la Pcia. de Bs. As. Ciencia del Suelo. 15 (2): 59-63.

Niemelä JJ, R Spence & DH Spence (1992) Habitat associations and seasonal activity of ground-beetles (Coleoptera, Carabidae) in Central Alberta. The Canadian Entomologist. 124: 521-540.

Sotherton NW (1984) The distribution and abundance of predatory arthropods overwintering on farmland. Ann. Appl. Biol. 105, 423-429.

Sotherton NW (1985) The distributions and abundance of predatory coleoptera overwintering in field boundaries. Annals of Applied Biology. 106: 17-21.

Stinner BR & GJ House (1990) Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. Annual Review of Entomology 35: 299-318.

Thomas MB & SD Wratten (1988) Manipulating the arable crop environment to enhance the activity of predatory insects. Environmental aspects. Applies Biology. Aspects of Applies Biology 17: 57-66.

Thomas MB, SD Wratten & NW Sotherton (1991) Creation of island habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predators densities and emigration. Journal of Applied Ecology. 28: 906-917

Thomas MB & EJP Marshall (1999) Artrhopod abundance and diversity in differently vegetable margins of ara-

ble fields. Agriculture, Ecosystems and Environment, 72:131-144.

Tyler BMJ & CR Ellis (1979) Ground beetles in three tillage plots in Ontario and observations on their importance as predators of the northern corn rootworm, Diabrotica longicornis (Coleoptera: Chrysomelidae). Proceedings of the Entomological Society of Ontario 110:65 - 73.

Verhoef HA & L Brussaard (1990) Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agroecosystems: the contribution of soil animal. Biogeochemistry 11:175-211.

Wegorek W & H Trojanowski (1985) Influence of intensive pesticide application in field cultures on some components of biocoenosis. Impacts de la structure des paysages agricoles sur la protection des cultures. Ed. INRA, París (Les Colloques de l'INRA, N° 36).

La microbiología del suelo: su relación con la agricultura sustentable

Adriana Abril

1. Introducción

Los criterios con que suele definirse la sustentabilidad del suelo son coincidentes en que se debe conservar la reserva de materia orgánica y nutrientes, manteniendo el balance de entradas y salidas (Boddey *et al.*, 1997). Doran & Safley (1998), profundizan el concepto diciendo que el manejo sustentable del suelo es una práctica de carácter holístico que optimiza las múltiples funciones del suelo, mantiene sus reservas y apoya estrategias que promueven la salud y calidad del mismo. Dentro de las múltiples funciones del suelo, Doran & Safley (1998), incluyen la descomposición de residuos y materia orgánica, retención de agua, liberación y reserva de nutrientes, capacidad buffer, etc.

Si bien el suelo está constituido mayoritariamente por sustancias inorgánicas, los procesos que involucran estas funciones son netamente de carácter bioquímico, es decir, están regulados por enzimas formadas por organismos vivos. Muchas veces no se asume totalmente que los procesos del suelo son resultado de actividad biológica y esta apreciación dificulta la interpretación global del sistema, debido a que las variables que inciden sobre los organismos vivos son muy complejas e interrelacionadas.

El estudio de los organismos responsables de los procesos del suelo ha sido relativamente dejado de lado a pesar que ellos constituyen unidades funcionales fundamentales en la transformación de masa y energía en la biosfera (Kunc, 1994). Tiedje *et al.*, (1999), afirman que el entendimiento de la dinámica de las comunidades microbianas del suelo es un gran desafío para la ecología, a causa de la enorme diversidad microbiana y la compleja y variable matriz en la cual los microorganismos están insertos.

Este desafío ha sido encarado en numerosas investigaciones, con resultados no siempre coincidentes (Smith & Strebley, 1994; Kunc, 1994; Duiker & Lal, 1999). Estos resultados se deben a que las variables analizadas (biomasa microbiana, cantidad de ATP, actividad enzimática, respiración, etc.) no por sí mismas son indicadoras de mejor calidad del suelo, sino en función de su distribución temporal y espacial y su relación con otros procesos. Por ejemplo, una alta actividad nitrificadora puede ser desfavorable para

la sustentabilidad de un suelo, cuando coincide con un periodo de elevadas precipitaciones y/o escaso desarrollo de vegetación.

Además, los microorganismos edáficos, como todos los organismos vivos, no son homogéneos: difieren en tipo, edad, metabolismo y estado fisiológico. Cuando se evalúa el impacto de diferentes prácticas de manejo, es muy importante considerar, que el resto de las poblaciones jóvenes de microorganismos son más activas y, por lo tanto, más vulnerables a los cambios provocados en el suelo (Van Gestel *et al*, 1993).

Desde este punto de vista, para poder formular prácticas de manejo sustentable, se hace necesario integrar criterios y conocimientos de varias especialidades como la microbiología, la química biológica y la ecología, que permitan entender el funcionamiento global del sistema suelo. El objetivo de este capítulo es analizar, con visión de sustentabilidad, la dinámica de los microorganismos edáficos bajo diferentes prácticas de manejo aportando herramientas conceptuales que permitan evaluar propuestas sustentables.

2. Metabolismo de los microorganismos edáficos

Aunque en el medio natural, la biomasa de los microorganismos es pequeña, su impacto en términos de transformación de la materia y energía es muy grande. Casi todo el carbono orgánico producido sobre la superficie terrestre es oxidado por microorganismos como mecanismo de obtención de energía. Aunque los microorganismos no son los únicos responsables de la mineralización de los compuestos orgánicos, sus características particulares, de alta actividad y adaptabilidad metabólica, les otorga un rol dominante en procesos claves del ciclo de nutrientes (Brock, 1999; Fenchel *et al*., 1998). Todos los procesos biológicos del suelo están regulados por dos actividades básicas de los microorganismos: obtención de energía (catabolismo) y biosíntesis celular (anabolismo).

2.1. Catabolismo microbiano

El catabolismo está asociado a reacciones redox, que resultan en producción de energía. Parte de la energía es liberada como calor y parte almacenada como energía química en forma de ATP. Cuanto mayor sea la diferencia de potencial redox entre los componentes de una reacción química, habrá mayor cantidad de energía liberada y, cuanto más numerosos sean los intermediarios químicos de transporte de hidrógeno, será menor la pérdida por calor y mayor el rendimiento energético.

A lo largo de la evolución, los microorganismos desarrollaron diferentes mecanismos para optimizar la eficiencia energética, desde procesos fermentativos con una producción de sólo 2 ATP por mol de glucosa hasta la o respiración aeróbica con una producción de 32 ATP (Fenchel *et al*., 1998, Schlegel, 1979). Entre ambos extremos se pre-

sentan otros mecanismos como la respiración anaeróbica, cuyo aceptor de hidrogeno, es un compuesto inorgánico diferente al oxígeno (por ej. NO_3^-, SO_4^{-2}). Este metabolismo de eficiencia energética similar a la respiración aeróbica tiene enorme implicancia agronómica ya que resulta en perdida de nutrientes por volatilización (por ej. como N_2O, N_2, SH_2) (Fenchel *et al.*, 1998; Schlegel, 1979).

Otro mecanismo de obtención de energía muy importante para las prácticas agrícolas es la oxidación de compuestos inorgánicos, cuyos productos son nutrientes disponibles para las plantas. En este metabolismo NH_4^+, NO_2^-, SH^-, etc., son oxidados en presencia de oxígeno, produciendo: NO_3^-, SO_4^{-2}, etc., con un rendimiento energético muy reducido dependiendo del par redox que se establezca (Paul & Clark, 1996).

Existen microorganismos que realizan una gran variedad de vías catabólicas, fruto de una alta adaptación al medio, que posibilita que, en cualquier condición, todas las sustancias orgánicas puedan ser oxidadas. Según Kunc (1994), los habitantes microbianos del suelo son capaces de realizar casi todas las reacciones metabólicas conocidas.

2.2 Anabolismo microbiano

La mayoría de la energía producida en el catabolismo microbiano, es utilizada en procesos de crecimiento, principalmente en la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos. Se ha calculado que por cada 10 moles de ATP, se sintetizan aproximadamente 10 g de materia orgénica celular.

La eficiencia de crecimiento se calcula como la relación entre la energía obtenida por catabolismo y la gastada en el anabolismo. Por ejemplo, un proceso respiratorio tiene una eficiencia del 64% y uno fermentativo un 14%. Se considera que la eficiencia de crecimiento es el componente más importante en la habilidad competitiva de los microorganismos y que sólo está limitada por la disponibilidad de compuestos carbonados y nutrientes específicos (Fenchel *et al.*, 1998).

Casi todos los microorganismos son capaces de sintetizar los aminoácidos necesarios para la síntesis proteica. Los esqueletos carbonados proceden de los compuestos intermediarios del catabolismo y los grupos amino se incorporan por aminación o transaminación. Si no existen compuestos aminados en el medio los microorganismos pueden asimilar NO_3^-, NO_2^- y N_2 reduciéndolos a NH_3. Estos mecanismos implican un costo energético adicional que afecta la eficiencia de crecimiento y constituye un aspecto muy importante en la dinámica de las poblaciones microbianas del suelo.

3. Dinámica microbiana en el suelo

En los ecosistemas terrestres la mayor fuente de energía y carbono la constituyen las raíces de las plantas vivas y los residuos orgánicos superficiales. Por lo tanto, los procesos

biológicos fundamentales en el suelo se establecen en relación a la asociación de microorganismos con las raíces y a la degradación de los restos superficiales.

La zona próxima a las raíces de las plantas (rizósfera) es un ambiente muy particular, especialmente por la elevada concentración de compuestos carbonados simples y la escasez de O_2, que favorece el crecimiento de microorganismos fermentativos y de respiración anaeróbica (Paul & Clark, 1996). Asimismo, algunas plantas establecen relaciones sinérgicas con microorganismos específicos, como por ejemplo hongos, actinomycetes o bacterias del género *Rhizobium,* lo que contribuye a la distribución selectiva de microorganismos (Dommergues, 1994).

En general, la cantidad de microorganismos disminuye en el perfil del suelo en relación con la disponibilidad de restos vegetales y O_2, pero este patrón se ve modificado por la textura, la disponibilidad de agua, la temperatura, etc. Como los microorganismos no pueden subsistir libres en la solución del suelo, porque son fácilmente lavados, se ligan a partículas orgánicas e inorgánicas formando complejos estables conocidos como agregados. Esta estructura particular, de enorme importancia para la fertilidad edáfica, es la causa de la gran heterogeneidad espacial de los organismos en el suelo (Paul & Clark, 1996). Por ejemplo, se menciona que fuera de los agregados se asientan poblaciones de rápido crecimiento que dependen de la descomposición de compuestos carbonados fácilmente descomponibles, mientras que, dentro de los agregados, se localizan microorganismos con escasa actividad metabólica, relacionados con la síntesis y degradación de compuestos húmicos (Van Gestel *et al*, 1993).

3.1. Procesos fundamentales en la descomposición de los residuos

La descomposición de los residuos condiciona una dinámica temporal y espacial que puede ser analizada mediante procesos fundamentales como: degradación de polímeros, oxidación de monómeros, liberación de nutrientes, fijación de N_2 y humificación (Figura 1, página 157)

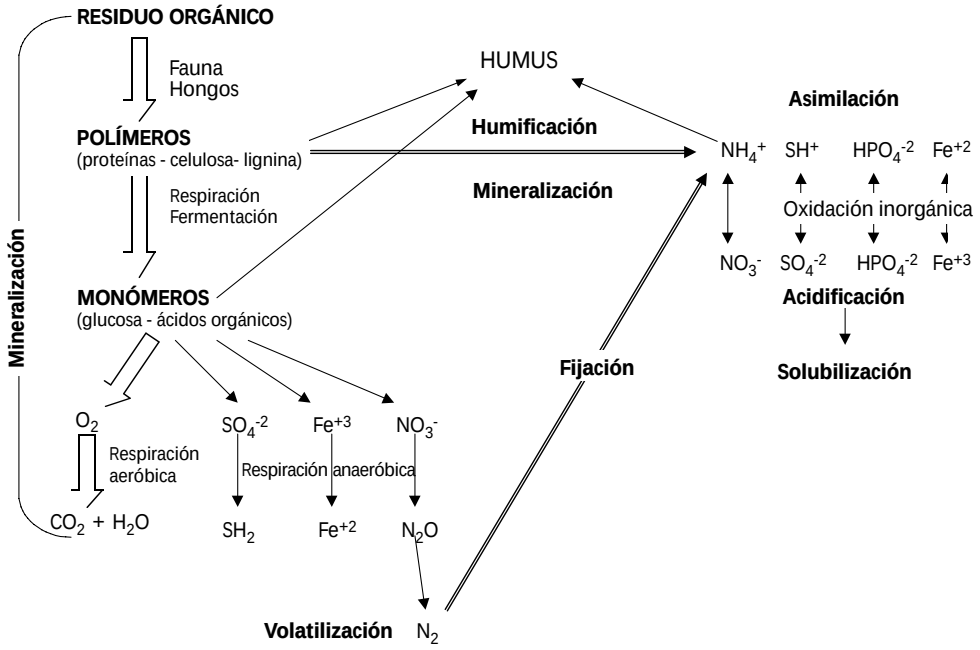
3.1.1. Degradación de polímeros orgánicos

La mayor proporción de compuestos orgánicos que ingresan al suelo, lo hacen a través de restos vegetales superficiales, especialmente hojas. La degradación de los residuos orgánicos es un proceso gradual donde intervienen numerosas especies de organismos de alta diversidad funcional, que actúan interrelacionados, extrayendo el máximo rendimiento energético posible. De tal manera, se establece una sucesión de poblaciones microbianas en base a las características metabólicas propias de cada una de ellas.

Las poblaciones que actúan primero sobre los restos son las que habitan en la superficie de las hojas vivas (filósfera) (Jensen, 1974). La posibilidad que estas poblaciones se desarrollen sobre las hojas muertas depende de la accesibilidad a los compuestos carbonados lábiles del citoplasma celular. Esta posibilidad está en estrecha relación con la compo-

Figura 1

Interrelación entre diferentes procesos microbianos del suelo

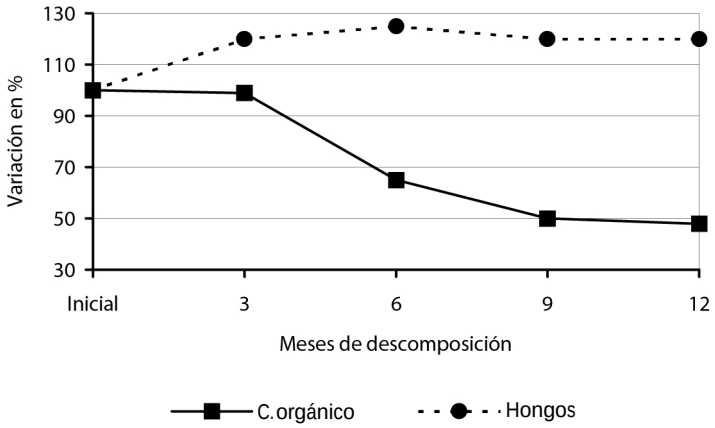


sición química y estructura del residuo. La presencia de paredes celulares con elevado contenido de fibras insolubles, con alta cantidad de compuestos antiherbívoros y cutículas gruesas, dificultan la accesibilidad al carbono fácilmente degradable (Scholes *et al.*, 1997).

Si las estructuras celulares son muy complejas, la fauna edáfica cumple un rol muy importante en la fragmentación de los restos, posibilitando así una mayor superficie para la acción microbiana (Ponge, 1999). De esta manera, la degradación de las paredes celulares es llevada a cabo mediante exoenzimas (pectinolíticas, celulolíticas, etc.) producidas pricipalmente por los hongos. En general, la degradación de las paredes celulares es un proceso lento donde actúan varias especies de organismos de manera sinérgica trozando los polímeros y utilizando los monómeros liberados. Como los hongos tienen alta eficiencia metabólica, gran cantidad de carbono es incorporado en la biomasa microbiana en las primeras etapas de la descomposición. Torres & Abril (datos no publicados), encontraron un aumento significativo en el número de hongos en los primeros 3 meses de descomposición de residuos, mientras el contenido de carbono orgánico permanecía casi constante como resultado de la incorporación en la biomasa microbiana (Figura 2, página 158).

Figura 2

Relación entre pérdida de carbono orgánico y número de hongos durante la descomposición de restos vegetales superficiales en un suelo de bosque chaqueño sin alterar perteneciente a la Reserva Provincial Chancaní en la Provincia de Córdoba, Argentina.



3.1.2. Oxidación de monómeros

A medida que los compuestos orgánicos solubles son liberados, una gran diversidad de microorganismos comienza a utilizarlos produciendo CO_2, disminuyendo, como consecuencia, el contenido de carbono del residuo. Una proporción importante de compuestos solubles penetra en el suelo, sirviendo de alimento a los microorganismos localizados en los poros y en contacto con la solución. En esta situación, predominan organismos de respiración aeróbica, muy activos y de rápido crecimiento, que acumulan gran cantidad de carbono en su biomasa (Van Gestel *et al.*, 1993). A medida que la disponibilidad de O_2 disminuye, a causa de la actividad respiratoria, estas poblaciones son reemplazadas por organismos fermentadores.

Una vez que se restituye la disponibilidad de oxígeno en el suelo, los procesos se revierten y los productos de la fermentación (ácidos orgánicos y alcoholes) son oxidados hasta CO_2 y agua. Ambos mecanismos, respiración y fermentación, se dan de manera sucesiva o simultánea en el suelo, dependiendo de los cambios en las condiciones ambientales (Paul & Clark, 1996; Fenchel *et al.*, 1998). Estos cambios provocan, además, gran mortandad de individuos, cuya biomasa se transforma en una importante fuente de restos orgánicos que favorece el desarrollo y actividad de otros organismos.

Cuando disminuye la cantidad de carbono soluble, las poblaciones declinan en mayor o menor grado dependiendo de la capacidad de adaptación y resistencia. Según Van Gestel *et al.* (1993), el 75% de las bacterias sobrevive sin estructuras de resistencia, lo que indica que han desarrollado otras estrategias de sobrevivencia, como por ejemplo, cambios en la estructura de la pared celular. Este autor menciona que las bacterias en fase de crecimiento rápido son Gram negativas y que se transforman en Gram positivas como

mecanismo de resistencia. La relación pared celular/citoplasma aumenta cuando hay limitaciones en la disponibilidad de carbono fácilmente degradable (Brock, 1999).

3.1.3. Liberación de nutrientes

Los organismos heterótrofos obtienen los elementos minerales de la degradación de compuestos orgánicos como proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, etc. Cuando los restos carbonados de estos compuestos son oxidados para provisión de energía, el excedente de minerales es excretado como desecho. Un claro ejemplo de esto lo constituyen los hongos que liberan gran cantidad de NH_4^+ como resultado de la degradación de proteínas, a causa de la elevada relación C/N de su biomasa (Fenchel *et al.*, 1998).

Posteriormente, estos compuestos minerales liberados son oxidados por bacterias dejando nutrientes asimilables para las plantas (por ej. NO_3^-). Se menciona que, debido a su escaso rendimiento energético, estas bacterias son poco numerosas y que están localizadas en sitios con elevada disponibilidad de O_2 para la oxidación y suficiente cantidad de CO_2 que garantice la biosíntesis celular. Por lo tanto, están estrechamente relacionadas a organismos heterótrofos con alta tasa metabólica. Además, como la oxidación del amonio permite dos pares redox, existen dos poblaciones microbianas que actúan de manera sucesiva: los productores de nitrito y los productores de nitratos. Las condiciones que regulan ambos pasos son muy diferentes, en particular el pH, debido a que los organismos nitritadores están adaptados a elevada concentración de amonio, mientras que los nitratadores actúan en medio ácido (Paul & Clark, 1996).

En ambientes con escasa disponibilidad de oxígeno, como la zona rizosférica y el interior de los agregados del suelo, la presencia de compuestos inorgánicos oxidados, favorece el desarrollo de organismos denitrificantes de respiración anaeróbica. Si bien el proceso de denitrificación está básicamente regulado por condiciones de anaerobiosis del suelo, la falta de oxígeno permanente dificulta la formación de nitratos, por lo que las condiciones óptimas para la volatilización de nutrientes, se establecen cuando existen frecuentes pulsos de anegamiento-sequía (Fenchel *et al.*, 1998).

3.1.4. Fijación biológica de N_2

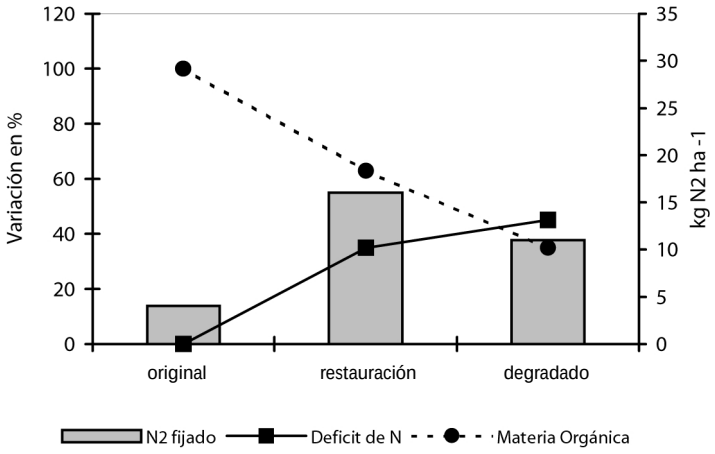
Este importante proceso microbiano, exclusivo de organismos procarióticos, está asociado a ambientes con reducida disponibilidad de O_2, para permitir una adecuada actividad de la enzima nitrogenasa. Por tal motivo, la mayor actividad fijadora de N_2 se encuentra en la zona rizosférica y en micrositios con restricciones a la difusión de aire (Dommergues, 1994). Esta particularidad de la enzima nitrogenasa ha provocado grandes cambios adaptativos en las especies fijadoras de N_2 logrando sistemas de alta eficiencia metabólica, como es el caso de la simbiosis *Rhizobium*-leguminosas.

Al ser la fijación de N_2 un proceso reductivo de alto costo energético, las bacterias que viven en ambientes con disponibilidad de otras fuentes de nitrógeno no asimilan el atmosférico. Por lo tanto, la fijación biológica está favorecida cuando hay limitación de

nitrógeno asimilable y con adecuada disponibilidad de compuestos carbonados como fuente de energía. Abril & Bucher (1999a) comparando la fijación de nitrógeno del suelo entre un bosque chaqueño original, un sitio altamente degradado por sobrepastoreo y uno en etapa de restauración de la vegetación, observaron mayor fijación de nitrógeno en el sitio en restauración, cuando el suelo va recuperando materia orgánica, pero aún presenta déficit de nitrógeno (Figura 3). Este es un aspecto de suma importancia para el manejo de la fijación de N_2 en sistemas productivos sustentables.

Figura 3

Relación entre déficit de nitrógeno disponible, contenido de materia orgánica y N_2 fijado, en suelos de un bosque chaqueño original, un sitio en etapa de restauración y uno degradado por sobrepastoreo (Abril & Bucher 1999a).



3.1.5. Humificación

Simultáneamente con el desarrollo de los procesos microbianos dentro del suelo, sobre el residuo superficial comienzan a actuar poblaciones de microorganismos capaces de degradar sustancias complejas como ligninas y taninos. Eichhorn & Hüttermann (1999), mencionan que son escasos los organismos con habilidad para degradar completamente la lignina, quedando restringidos a los hongos Basidiomycetes. A medida que las moléculas complejas se fraccionan, se liberan compuestos lábiles que son utilizados por las poblaciones microbianas.

Dentro de las moléculas solubles que se van liberando, algunas son muy difíciles de degradar (como los fenoles aromáticos, provenientes de la despolimerización de taninos y ligninas), por lo que permanecen inalteradas en el suelo por largos períodos de tiempo. Esta situación favorece la agrupación de moléculas semejantes, constituyendo núcleos para la formación de ácidos húmicos (Meentemeyer, 1978; Fenchel *et al.*, 1998).

La cantidad de humus de un suelo es resultado del balance que se establece entre la

polimerización y la degradación de moléculas complejas. La descomposición del humus esta gobernada por los mismos mecanismos que la degradación de lignina, por lo que son escasos los microorganismos capaces de oxidar totalmente los grupos aromáticos. Esta es la razón por la cual el humus, aunque presenta una relación C/N similar a muchos restos vegetales, tiene una tasa de descomposición más lenta (Eichhorn & Hüttermann, 1999).

4. Efectos de las prácticas agrícolas sobre los procesos microbianos del suelo

Debido a la complejidad de las interacciones nutricionales de los microorganismos, la calidad de un suelo no depende tanto de la magnitud de un proceso determinado como del balance que se establece entre diferentes procesos. Las prácticas agrícolas alteran este balance, y la posibilidad de retomar su punto original depende de las características de homeostasis del sistema, por lo que no todos los suelos responden de igual manera. El tiempo requerido para amortiguar el impacto en el suelo varía básicamente según la reserva de energía y nutrientes presentes en el humus. Suelos con escasa reserva energética pierden más rápidamente su capacidad de resiliencia, cambiando el tipo y actividad de microorganismos (Blum, 1998).

Numerosos trabajos evalúan el efecto del uso del suelo sobre los microorganismos edáficos. La opinión generalizada es que los sistemas productivos afectan la reserva de materia orgánica y por ende a los microorganismos que dependen de ella (Buyanosky *et al.*, 1987; Silver *et al.*, 1996; Feller & Beare, 1997; Giller *et al.*, 1997; Masciandaro *et al.*,1998). Según Waid (1999), las prácticas efectuadas por el hombre para mejorar la fertilidad (fertilización, corrección de pH, incorporación de residuos y abonos, cambios en el drenaje, etc.), alteran en forma positiva la biota edáfica, (promoviendo la descomposición, asimilación, agregación y mineralización) y también en forma negativa (por un aumento de la denitrificación y perdidas de NH_3). Las prácticas de manejo consideradas de mayor impacto sobre el balance natural de los procesos microbianos del suelo son:

4.1. Cambios en la vegetación original

Los cambios en la vegetación, entre sistemas naturales y agroecosistemas, son muy importantes en cuanto a diversidad y estructura de especies. Los sistemas cultivados son generalmente monoespecificos, lo que afecta el tipo y cantidad de residuos, la cobertura y la diversidad de captación de nutrientes. La transformación de bosques en cultivos produce un fuerte impacto sobre la biota del suelo. Paul & Clark (1996), mencionan que después de la deforestación hay un incremento de la biomasa microbiana, con un marcado cambio en el número y dominancia de especies debido al aumento del residuo superficial y a la mayor disponibilidad de raíces muertas. Waid (1999), afirma que la fuerza que maneja la biodiversidad del suelo es el tipo, cantidad y composición química de la vegetación, ya que las plan-

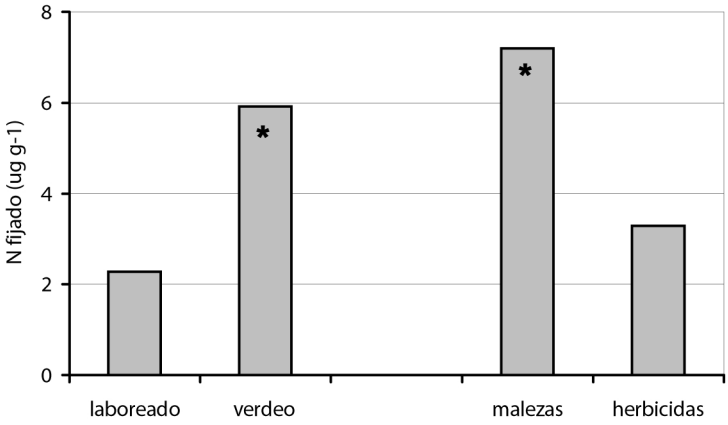
tas son la principal fuente de energía y nutrientes orgánicos de los cuales depende la biota edáfica. El reemplazo de la vegetación original por cultivos, especialmente monocultivos continuos, puede alterar la composición y biomasa microbianas de diferentes maneras:

4.1.1. Efecto sobre la interacción microorganismo-planta

Según Fenchel *et al.* (1998), la respuesta de la biota del suelo a los cambios en las poblaciones de plantas y animales no ha sido suficientemente estudiado. Es evidente que los organismos fijadores de N_2 y otros simbiontes como las micorrizas, dependen de la abundancia de la planta hospedadora y que, a causa de la alta especificidad de estas asociaciones, los cambios de vegetación pueden modificar la diversidad microbiana. Experiencias realizadas por Kopp & Abril (datos no publicados), en áreas agrícolas de la provincia de Córdoba, demostraron que la actividad fijadora de N_2 durante un barbecho invernal fue más elevada cuando estaban presentes plantas vivas (malezas o un verdeo de gramíneas), como consecuencia de la asociación de las raíces con organismos fijadores de nitrógeno (Figura 4).

Figura 4

Efecto de la vegetación sobre la fijación biológica de nitrógeno en suelos con diferentes manejos de ratrojos de soja en la Estación Experimental INTA Manfredi en la Provincia de Córdoba. (* diferencias significativas p<0.05). Laboreado: suelo con labranza convencional; Verdeo: siembra de avena en invierno controlada con herbicidas antes de la siembra de soja; Malezas: malezas invernales controladas mediante cortes periodicos; Herbicidas: malezas controladas mediante herbicidas.



4.1.2. Efecto sobre la materia orgánica del suelo

El efecto de la vegetación sobre la actividad microbiana del suelo es de suma importancia especialmente en zonas tropicales, porque la cobertura vegetal amortigua condiciones climáticas extremas (Abril *et al.*, 1993; Torres & Abril, 1996; Tiessen *et al.*, 1998: Londo *et al.*, 1999). Cambios en los patrones de vegetación pueden tener significativos

efectos sobre los microorganismos que intervienen en los procesos de síntesis-degradación del humus del suelo. Abril & Bucher (2001), observaron que el sobrepastoreo en áreas de bosque chaqueño, conduce a una perdida exponencial de materia orgánica a causa de la escasez de residuos y de la activación de la respiración microbiana, por aumento de la temperatura en zonas sin vegetación.

4.1.3. Efecto sobre la disponibilidad de nutrientes

Un aspecto muy interesante analizado por Masciandaro *et al.* (1998), es que, con el cambio de la vegetación, se altera la sincronización natural existente entre la actividad de plantas y microorganismos. La separación en el tiempo entre los procesos de mineralización y los requerimientos de la nueva vegetación, da como resultado una baja eficiencia en el uso de los nutrientes, ya que, cuando éstos son liberados en períodos sin cultivo, están sujetos a pérdidas por lixiviación o volatilización

4.2. Sistemas de labranza

Toresani *et al.* (1998), afirman que las labranzas, y como consecuencia el manejo de los residuos, es el factor que más influye en la sustentabilidad de los sistemas de agricultura continua. La ubicación del residuo, debido a la labranza, provoca severos cambios en el ecosistema suelo, que afecta de manera directa a los microorganismos.

4.2.1. Efecto sobre la biomasa microbiana

En general, las poblaciones microbianas son favorecidas por las labranzas, ya que fragmentan e invierten los residuos, rompen los agregados y aumentan la aireación del suelo, fomentando una intensa actividad microbiana en la zona de la labor (Franzluebbers *et al.*, 1995; Lupwayi *et al.*, 1998; Debosz *et al.*, 1999). Por el contrario, la falta de labranza circunscribe la actividad microbiana a la superficie del suelo (Paul & Clark, 1996; Abril *et al.*, 1995). Se menciona que el aumento de la biomasa microbiana en un suelo laboreado es similar al de un suelo con residuos superficiales. Sin embargo Meyer *et al.* (1996), sostienen que, a igualdad de residuo, la biomasa microbiana superficial es menor que la originada por la labranza dentro del suelo.

Por otra parte, Carter (1991) y Lovell *et al.* (1995), analizan el aumento de la biomasa microbiana en función de su importancia como componente lábil de la materia orgánica y como fuente y reserva de nutrientes. Estos autores mencionan que la liberación de CO_2 es casi 10 veces más rápida a partir de la biomasa microbiana que de los restos vegetales, lo que es consistente con las pérdidas de materia orgánica ocasionadas por laboreos continuos. Asimismo, Duiker & Lal (1999), sostienen que la descomposición gradual del residuo en sistemas sin laboreo, resulta más eficiente para la retención de carbono en el suelo y que tiene enorme incidencia sobre el cambio climático global debido a que al suelo representa uno de los más grandes reservorios de carbono orgánico del planeta.

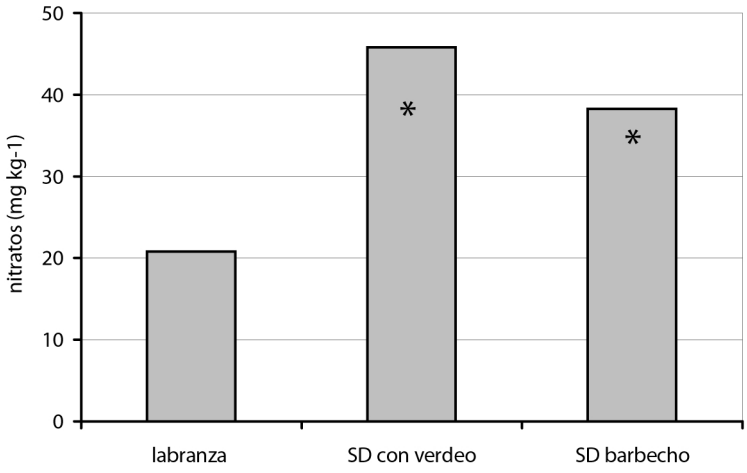
4.2.2. Efecto sobre la disponibilidad de nutrientes

Las labranzas convencionales modifican sustancialmente el perfil natural del suelo, homogeneizando las condiciones ambientales y alterando la secuencia natural de la mineralización. Paul & Clark (1996), mencionan que en el suelo laboreado, predominan las bacterias mientras que en el residuo superficial dominan los hongos. Este aspecto es de enorme importancia para la evaluación de la cantidad de nutrientes inmovilizados en la biomasa microbiana. A causa de las diferencias en efectividad metabólica, los hongos retienen menor cantidad de nutrientes que las bacterias (Fenchel *et al.*, 1998). Es decir que, a igualdad de biomasa, en el residuo superficial se inmoviliza menor cantidad de nutrientes que en el suelo laboreado.

Por efecto del laboreo previo la siembra, la biomasa microbiana se vuelve muy activa, consume rápidamente carbono y mineraliza nutrientes que se pierden antes que la planta los pueda utilizar. Posteriormente, cuando el cultivo los requiere, debe competir con una gran población de microorganismos (Masciandaro *et al.*, 1998; Creus *et al.*, 1998). En labranzas sin incorporación de residuo, la mineralización es gradual y la liberación de nutrientes se produce durante un largo período de tiempo, pudiendo estar disponibles al momento de emergencia de las plántulas (Schoneau & Campbell, 1996). Kopp & Abril (datos no publicados), observaron una mayor disponibilidad de nitrógeno al momento de la siembra de soja en suelos sin laboreo que en suelos con labranza convencional, indicando que la mayor parte de los nutrientes mineralizados por la labranza no son retenidos en el suelo (Figura 5).

Figura 5

Efecto de la labranza sobre la disponibilidad de nitratos a la siembra. Ensayos realizados en la Estación Experimental INTA Manfredi en la Provincia de Córdoba. (* diferencias significativas $p<0.05$). Labranza: suelo con labranza convencional; SD con verdeo: siembra directa de soja con siembra de avena en invierno; SD con barbecho: siembra directa de soja con barbecho quimico durante el invierno.

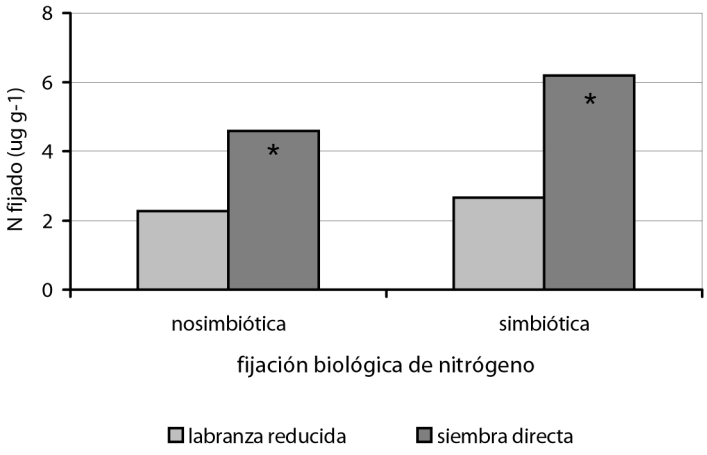


4.2.3. Efecto sobre la fijación biológica de N_2

Roper *et al.* (1994), y Lamb *et al.* (1987), firman que la fijación de N_2 por organismos de vida libre es estimulada por la deposición superficial de los residuos de cosecha, a causa de la provisión de energía y carbono y el aumento de la capacidad de retención de agua. Estos autores afirman que los beneficios de la fijación se hacen evidentes en cultivos posteriores, debido a que el nitrógeno fijado debe ser previamente mineralizado para estar disponible para las plantas. Asimismo, se menciona que los sistemas sin remoción de suelo favorecen la fijación por organismos simbióticos, especialmente en condiciones de baja disponibilidad de nitrógeno o problemas de estrés hídrico (Harper *et al.*, 1989; Matus *et al.*, 1997; Dalal *et al.*, 1997). Kopp y Abril (datos no publicados), observaron que la actividad de la enzima nitrogenasa aumenta en sistemas con siembra directa, tanto en el suelo, (por organismos de vida libre) como en nódulos de soja (Figura 6).

Figura 6

Efecto de la labranza sobre la fijación biológica de nitrógeno en cultivos de soja realizados en la Estación Experimental INTA Manfredi en la Provincia de Córdoba. (* diferencias significativas $p<0.05$)



4.3. Fertilización

La fertilización es una práctica muy generalizada en los sistemas agrícolas, para reponer los nutrientes extraídos por el cultivo. Desde el punto de vista de un manejo sustentable, los criterios para el uso de fertilizantes no deben desconocer los efectos que produce la fertilización sobre los procesos microbianos del suelo, para poder determinar los requerimientos y momentos críticos para la provisión de nutrientes.

4.3.1. Efectos sobre la biomasa vegetal y microbiana

El aporte de nutrientes incrementa la biomasa vegetal y, por lo tanto, aumenta la cantidad de residuo que retorna al suelo. Hay autores que mencionan que el aumento de bio-

masa vegetal es selectivo, ya que disminuye la relación raíz/parte aérea lo cual es de suma importancia para las poblaciones microbianas del suelo (Omay *et al.*, 1997). Este aspecto es coincidente con lo afirmado por Lovell *et al.* (1995), en el sentido que la biomasa microbiana disminuye en suelos con tratamientos prolongados de fertilización, a causa del menor aporte radicular. Según Paul & Clark (1996), la aplicación de fertilizantes aumenta las poblaciones microbianas y, debido a la disminución de la relación C/N, éstas consumen carbono del humus como fuente de energía. Este mecanismo sería una de las causas por las cuales suelos, con cultivos fertilizados de manera permanente, van perdiendo la reserva de materia orgánica. Otro aspecto mencionado por Paul & Clark (1996), es la importancia de la forma de aplicación del fertilizante, ya que la elevada concentración de amonio, que se produce cuando es colocado en bandas, tiene marcado efecto biocida.

4.3.2. Efecto sobre la inmovilización de nutrientes

Generalmente se asume que las prácticas de deposición de residuos superficiales deben necesariamente ser suplementadas con fertilizantes porque los microorganismos que descomponen los residuos inmovilizan los nutrientes para las plantas (Singh & Singh 1993; Mc Keeney *et al.*, 1995). Si bien la información al respecto es muy variada, existen escasos trabajos que evalúen la disponibilidad de nitratos en diferentes sistemas de laboreo por largos períodos de tiempo. Alves *et al.* (1999), sostienen que la inmovilización de nutrientes en la biomasa microbiana del residuo superficial es un problema sólo en los primeros años del cambio de sistema de labranza. Afirman que la necesidad de fertilizar para mantener la productividad disminuye con los años de aplicación de la siembra directa, ya que el aumento de materia orgánica, va acompañado por un aumento de las reservas de nitrógeno proveniente de residuos de cosechas anteriores.

4.3.3. Efecto sobre la mineralización de nutrientes

La mineralización del nitrógeno se ve muy afectada por la aplicación de fertilizantes nitrogenados especialmente por el brusco cambio de pH y el aumento de la presión osmótica de la solución del suelo. El pH fuertemente alcalino por aplicación de urea inhibe la actividad de los organismos nitratadores y provoca acumulación de nitritos en el suelo, mientras que la aplicación de nitratos baja bruscamente el pH inhibiendo la oxidación del amonio. Ambos procesos pierden sincronización y los suelos pasan a depender exclusivamente del nitrógeno aportado por los fertilizantes. Por otra parte, el aumento de la presión osmótica de la solución del suelo dificulta la absorción de agua por las plantas, por lo que, los cultivos fertilizados requieren mayor cantidad de agua durante su ciclo. Por este motivo, en zonas semiáridas, la tecnología de la fertilización debe ir acompañada por sistemas de riego, para mejorar la producción. Asimismo, la aplicación de fertilizantes provoca un desbalance en la concentración de minerales en solución, particularmente en relación a elementos menores, lo que dificulta la captación equilibrada de nutrientes (Primavesi, 1984). Actualmente se trata de paliar esta situación incorporando a los fertilizantes la mayoría de

los elementos requeridos por las plantas, lo que altera otros mecanismos de mineralización.

4.3.4. Efecto sobre las pérdidas de nutrientes

Se menciona que la eficiencia de la fertilización en sistemas sin laboreo se ve fuertemente reducida a causa de elevadas pérdidas por volatilización. El mecanismo más importante en este sentido es la volatilización de NH_3 a partir de la degradación microbiana de la urea aplicada sobre el residuo superficial (Alves *et al.*, 1999). Esto constituye otro motivo para aconsejar mayores dosis de fertilizantes en siembra directa, aumentando el impacto sobre los procesos microbianos del suelo. Además, la aplicación de fertilizantes nitrogenados provoca grandes pérdidas de nitritos y nitratos por lixiviación y escorrentía, que se acumulan en aguas subterráneas, ríos y embalses con consecuencias negativas para el medioambiente y la salud (Ramos, 1996). Este aspecto ha sido poco evaluado en Argentina, a pesar de ser uno de los principales motivos para aconsejar la reducción de insumos químicos en países desarrollados (Kirchner *et al.*, 1993).

4.3.5. Efectos sobre la fijación biológica de nitrógeno

La fijación biológica del nitrógeno se ve fuertemente afectado por la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Roper *et al.*, 1994; Alves *et al.*, 1999). Teniendo en cuenta el elevado costo energético de la fijación biológica, los microorganismos utilizan el nitrógeno del fertilizante, por lo que la fijación se reduce a valores mínimos. Este aspecto es de suma importancia para el manejo sustentable de los sistemas productivos, ya que la fijación de N_2 es considerada como una de las herramientas claves para la sustentabilidad y puede llegar a definir los criterios de aplicación de fertilizantes.

4.4. Aplicación de biocidas

Los herbicidas e insecticidas aplicados a campo rara vez logran suficiente concentración en el suelo como para dañar directamente a los microorganismos. Se menciona que los organismos nitrificadores son los más susceptibles a los diferentes biocidas y que se puede observar inhibición de la nitrificación después de la aplicación (Paul & Clark 1996). Harris *et al.*, (1995), mencionan que los herbicidas disminuyen las poblaciones de hongos, pero sólo transitoriamente y observaron que las bacterias capaces de degradar el herbicida aumentan por la aplicación del producto. Probablemente, el efecto más importante de la aplicación de herbicidas sea la interrupción de la interacción microorganismos-planta, alterando la densidad y actividad de las poblaciones rizosféricas, especialmente las fijadoras de nitrógeno (Figura 4).

4.5. Uso del fuego

Si bien la quema de vegetación no es una práctica agrícola generalizada, es de enorme importancia en el manejo de desmontes y pastizales naturales. Este proceso de mine-

ralización no biológica suele ser enfocado desde diferentes posiciones debido a las que el efecto de las quemas varía considerablemente según sea el clima, la intensidad del fuego, la vegetación y especialmente el tipo de manejo previo y posterior del sitio quemado.

En general se menciona que el fuego provoca una disminución muy marcada del número y actividad de los microorganismos, en relación con el aumento de temperatura y la combustión de la materia orgánica superficial (Dumontet et el., 1996). La magnitud de este efecto depende de las características fisiológicas de los diferentes grupos de microorganismos. Por ejemplo, González *et al.* (2000), encontraron que un fuego de fuerte intensidad en un bosque clímax, afectó a todas las poblaciones microbianas excepto a las que presentan estructuras de resistencia al calor (endosporas) y que el efecto fue más notable en los organismos nitrificadores y fijadores de N_2 a causa del aumento de nitratos del suelo por la deposición de cenizas. El tiempo para lograr la recuperación de las poblaciones edáficas después de un incendio, depende de las condiciones de homeostasis del sistema y de la intensidad del disturbio. Por ejemplo Abril & González (1999), mencionan que la recuperación del componente biológico del suelo después de un incendio de escasa magnitud en un sistema sobrepastoreado demandó un período superior a los dos años.

5. Las poblaciones microbianas como indicadoras de sustentabilidad del suelo

Considerando la enorme participación que tienen los microorganismos edáficos en el funcionamiento del suelo, algunos autores los proponen como indicadores válidos para el diagnóstico de calidad y sustentabilidad de los agroecosistemas (Filip, 1998; Roper & Ophel-Keller, 1998; Dilly & Blume, 1998; Bauhus & Khanna, 1999). En la actualidad, todavía no existe un criterio único de utilización de microorganismos como indicadores, ya que se presentan muchas dificultades al momento de seleccionar los parámetros biológicos más adecuados que reflejen la dinámica y la heterogeneidad de las comunidades microbianas.

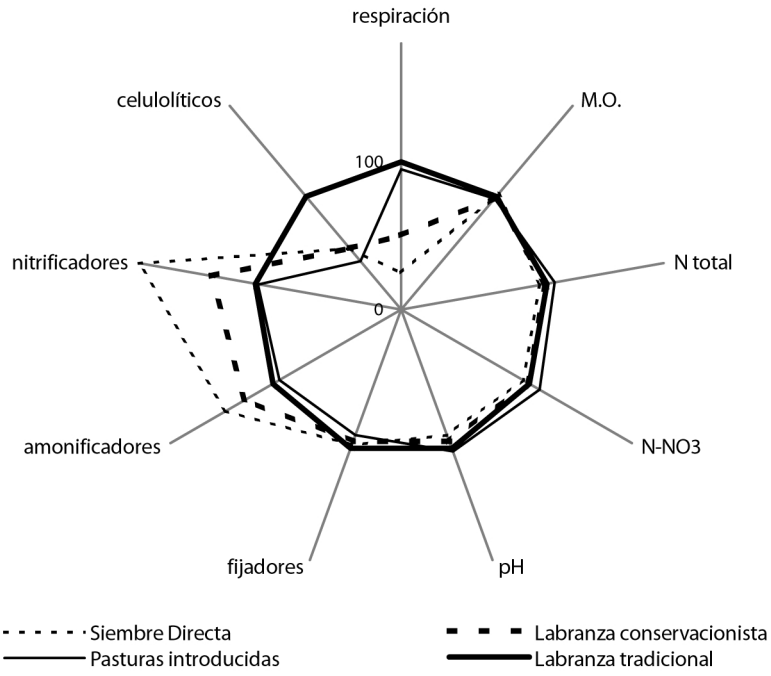
Todas las variables biológicas del suelo son muy sensibles a los impactos de los sistemas productivos (Lodge *et al.*, 1996; Giller *et al.*, 1997) siendo las poblaciones nitrificantes las más afectadas, como resultado de sus características ecofisiológicas (Sparlin, 1998; Abril & Bucher, 1999b). Asimismo, como no siempre el aumento de una variable indica una mejor calidad del suelo (por ejemplo, el aumento de la actividad enzimática y la biomasa a posterior de un laboreo, indica perdidas de materia orgánica), algunos autores utilizan índices como qCO_2 (respiración/biomasa microbiana) y respiración/materia orgánica, para detectar si una mayor actividad se contrapone o no con la sustentabilidad del suelo (Sparlin, 1998; Dily & Blume, 1998; Abril & Bucher, 2001; Bauhus & Khanna, 1999).

Roper & Ophel-Keller (1998) y Abril & Bucher (1999b), mencionan que los organismos fijadores de N_2 son excelentes indicadores de recuperación de los suelos, por su capacidad de colonizar aquéllos con escaso nitrógeno disponible y que organismos como los amonificadores son poco apropiados como indicadores por su elevada diversidad poblacional.

También se hace referencia a que la proporción relativa de las poblaciones, es otro buen indicador de alteraciones en el suelo, por ejemplo, la dominancia de los organismos celulolíticos sobre el resto de las poblaciones después de un laboreo (Abril *et al.*, 1995). En 1998, Dilly & Blume, hicieron una excelente propuesta para el análisis de los microorganismos como indicadores, expresando las variables biológicas en un gráfico "star plot" cuya área indica el estado de las funciones microbianas del suelo de manera integrada. Abril & Bucher (1999b), aplicando esta metodología a diferentes situaciones de manejo, y considerando valor 100 a la labranza tradicional, observaron que las áreas correspondientes a manejos conservacionistas se desplazan marcadamente en la zona de las variables biológicas. Esto demuestra que, en el corto plazo los parámetros microbianos son mas sensibles que los químicos para detectar las alteraciones de manejo, por lo que pueden constituirse en una herramienta muy útil para el desarrollo de predicciones científicas dentro del campo de la sustentabilidad (Figura 7).

Figura 7

Microorganismos edáficos como indicadores de sustentabilidad en diferentes sistemas de labranzas en la región semiárida Central de la Provincia de Córdoba (Abril & Bucher 1999b).



6. Recomendaciones

Considerando que la sustentabilidad de un suelo esta íntimamente relacionada con el balance entre diferentes procesos biológicos, los requisitos que deberían tenerse en cuenta para el manejo sustentable de un sistema productivo son:

1) Mantener la cobertura de vegetación similar a la original. Por ejemplo desmontes selectivos con pasturas, intercultivos, etc., especialmente en zonas con elevada insolación.
2) Utilizar las ventajas de la degradación gradual del residuo superficial, para favorecer el aumento de materia orgánica y evitar pérdidas de nutrientes.
3) Analizar la sincronía entre mineralizaron y asimilación de nutrientes, por ejemplo evitando el laboreo profundo previo a períodos de lluvias abundantes.
4) Favorecer el efecto rizosférico, por ejemplo manteniendo plantas vivas en períodos sin cultivos.
5) Estimular todos los procesos de fijación biológica de nitrógeno, desde el manejo de condiciones durante el barbecho, hasta las técnicas de inoculación y asociación de cultivos con leguminosas.
6) Manejar la fertilización conociendo riesgos y beneficios, para lo cual es imprescindible considerar además de las dosis y productos, la modalidad de aplicación y los cambios de requerimientos a lo largo del tiempo.
7) Evaluar la conveniencia de aplicar herbicidas considerando los efectos de la pérdida de diversidad vegetal sobre los mecanismos biológicos del suelo.
8) Evitar el uso del fuego en sistemas bajo explotación, con escasa capacidad homeostática.
9) Utilizar componentes de la biota edáfica para el monitoreo de las condiciones de sustentabilidad de los sistemas productivos.

Abril A & EH Bucher (1999a) The effects of overgrazing on soil microbial community and fertility in the dry savannas of Argentina. Applied Soil Ecology 12: 159-167.

Abril A & EH Bucher (1999b) ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores del impacto de los sistemas productivos sobre el suelo? Actas XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile. pp.136.

Abril A & EH Bucher (2001) Overgrazing and soil carbon dynamics in the Western Chaco of Argentina. Applied Soil Ecology 16: 243-249.

Abril A & C González (1999) Dinámica de la fertilidad y de las poblaciones microbianas en suelos afectados por incendios en las Sierras de Córdoba. Agriscientia 16: 63-70.

Abril A, M Acosta, O Bachmeier & A Rollán (1993) Efecto de la cobertura vegetal sobre la actividad biológica de un suelo en zona árida. Revista Argentina de Microbiología 25: 15-26.

Abril A, V Caucas & F Nuñez Vazquez (1995) Sistema de labranza y dinámica microbiana del suelo en la región central de la Provincia de Cordoba. Ciencia del Suelo 13: 104-106.

Alves BJR, L Zotarelli, RM Boddey & S Urquiaga (1999) Ciclaje de N en sistemas de siembra directa y convencional. Actas de Jornada Técnica: Biología del suelo en siembra directa. pp. 1-5.

Bauhus J & PK Khanna (1999) The significance of microbial biomass in forest soils. In: Going Underground-Ecologial Studies in Forest Soils. Rastin N & J Bauhus, Eds. Research Signport, Camberra, Australia. pp. 77-110.

Blum WH (1998) Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation. In: Methods for Assessment of Soil Degradation. Lal R, WH Bum, C Valentine & BA Stewart, Eds. CRC Press. Boca Ratón. pp. 1-16.

Boddey RM, SJ Moraes, BJR Alves & S Urquiaga (1997) The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. Soil Biol. Biochem. 29: 787-799.

Brock (1999) Biología de los Microorganismos. Madigan MT, JM Martinko & J Parker, Eds. Prentice Hall. Madrid. 986 pp.

Buyanovsky GA, DL Kucera & GH Wagner (1987) Comparative analyses of carbon dynamics in native and cultivated ecosystems. Ecology 68: 2023-2031.

Carter M (1991) The influence of tillage on the proportion of organic carbon and nitrogen in the microbial biomass of medium-textured soils in a humid climate. Biol. Fertil. Soils 11: 135-139.

Creus CR, GA Studdert, HE Echeverría & SR Sanchez (1998) Descomposición de residuos de cosecha de maíz y dinámica del nitrógeno del suelo. Ciencia del Suelo 16: 51-57.

Dalal RC, WM Strong, JA Doughton, EJ Weston, GT McNamara & JE Cooper (1997) Sustaining productivity of a Vertisol at Warra, Quensland, with fertilisers, no-tillage or legumes. 4. Nitrogen fixation, water use and yield of chickpea. Australian Journal of Experimental Agriculture 37: 667-676.

Debosz K, PH Rasmussen & P Asger (1999) Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzime activity in arable soils: effects of organic matter input. Applied Soil Ecology 13: 209-218.

Dilly O & OH Blume (1998) Indicators to assess sustainable land use with reference to soil microbiology. In: Towards Sustainable Land Use. Blume HP, H Eger, E Fleischhauer, A Hebel, C Reij & KG Steiner, Eds. Advances in Geoecology 31. Catena Verlag. Reiskirchen. pp. 21-27.

Dommergues Y (1994). Management of soil microbial populations (with enphasis en N2- fixing bacteria) to optimize tree establishment and growth. In: Biological nitrogen fixations and sustainability in agriculture. Mulongoy K, M Gueyoa & D Spencer, Eds. J Wikey. Chichester. pp. 113-132.

Doran JW & M Safley (1998) Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: Biological Indicators of Soil Health. Pankhurst C & BM Doube, Eds. CAB International. Oxon, UK. pp. 1-28.

Duiker SW & R Lal (1999) Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in central Ohio. Soil & Tillage Research 52: 73-81.

Dumontet S, H Dinel, A Scopa, A Mazzatura & A Saracino (1996) Post-fire soil microbial biomass and nutrient content of a pine forest soil from a dunal mediterranean enviroment. Soil Biol. Biochem. 28 : 1467-1475.

Eichhorn J & A Huttermann (1999) Mechanisms of humus dynamics and nitrogen mineralization. In: Going Underground-Ecological Studies in Forest Soils. Rastin N & J Bauhus, Eds. Research Signpost, India. pp. 239- 278.

Feller C & MH Beare (1997) Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. Geoderma 79:69-116.

Fenchel T, GM King & TH Blackburn (1998) Bacterial Biogeochemistry: The Ecophysiology of Mineral Cycling. Academic Press. New York. 307 pp.

Filip ZK (1998) Soil quality assessment: an ecological attempt using microbial and biochemical procedures. In: Towards Sustainable Land Use. Blume HP, H Eger, E Fleischhauer, A Hebel, C Reij & KG Steiner, Eds. Advances in Geoecology 31. Catena Verlag. Reiskirchen. pp. 21-27.

Franzluebbers AJ, FM Hons & DA Zuberer (1995) Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO2 evolution, water content, temperature and bulk density. Applied Soil Ecology 2: 95-109.

Giller KE, MH Beare, P Lavelle, AM Izac & MJ Swift (1997) Agricultural intensification soil biodiversity and agroecosystem function. Applied Soil Ecology 6: 3-16.

González C, A Abril A & M Acosta (2000) Efecto del fuego sobre la fertilidad edáfica y las comunidades microbianas en el Chaco Occidental Argentino. Ecología Austral (en prensa).

H**arper L, J Giddens, W Langdale & R Sharpe** (1989) Environmental effects on nitrogen dynamics in soybean under conservation and clean tillage systems. Agron. J. 81: 623-631.

Harris P, H Schomberg, P Banks & J Giddens (1995) Burning, tillage and herbicide effects on the soil microflora in a wheat-soybean double-crop system. Soil Biol. Biochem. 2: 153-156.

Jensen V (1974) Decomposition of angiosperm tree leaf litter. In: Biology of Plant Litter Decomposition. Dickinson CH & GJF Pugh, Eds. Academic Press. London. pp. 69-104.

Kirchner M, IA Wollum & D King (1993) Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 1289-1295.

Kunc F (1994) Methods for the analysis of microbial communities. In: Beyond the Biomass. Ritz K, J Dighton & KE Giller, Eds. Wiley-Sayce. UK. pp. 23-28.

Lamb JA, WJ Doram & GA Peterson (1987) Non symbitic dinitrogen fixation in no-till and conventional wheat fallow systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 356-361.

Lodge DJ, DL Hawksworth & B Ritchie (1996) Microbial diversity and tropical forest functioning . In: Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Forests. Orians, Dirzo & Cushman Eds. Ecological Studies. Vol 122. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. pp 69-100.

Londo AJ, MG Messina & SH Schoenholtz (1999) Forest harvesting effects on soil temperature, moisture, respiration in a bottomland hardwood forest. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 637-644.

Lovell RD, SC Jarvis & RD Bardgett (1995) Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. Soil Biol. Biochem. 27: 969-975.

Lupwayi N, W Rice & W Clayton (1998) Soil microbial diversity and community structure under wheat as influenced by tillage and crop rotation. Soil Biol. Biochem. 13: 1733-1741.

Masciandaro G, B Ceccanti & JF Gallardo-Lancho (1998) Organic matter properties in cultivated versus set-aside arable soils. Agriculture, Ecosystem and Environment 67: 267-274.

Matus A, D Derken, F Walley, H Loeppky & C van Kessel (1997) The influence of tillage and crop rotation on nitrogen fixation in lentil and pea. Can. J. Plant. Sci. 77: 197-200.

McKeeney DJ, SW Wang, CF Drury & W Finlay (1995) Denitrification, inmobilization and mineralization in nitrate limitid and nonlimitid residue-amended soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 118-124.

Meentemeyer V (1978) Macroclimate and lignin control of litter descomposition rates. Ecology 59: 465-472.

Meyer K, RG Joergensen & B Meyer (1996) The effects of reduced tillage on microbial biomass C and P in sandy loess soils. Applied Soil Ecology 5: 71-79.

Omay A, C Rice, L Maddux & W Gordon (1997) Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 1672-1678.

Paul EA & FE Clark (1996) Soil Microbiology and Biochemistry. Academy Press, Inc. SAN Diego. California. 340 pp.

Ponge JF (1999) Interaction between soil fauna and their environment. In: Ecological Studies in Forest Soils. Rastin N & J Bauhus, Eds. Reseaarch Signport, Camberra, Australia. pp 45-76.

Primavesi A (1984) Manejo Ecológico del Suelo. El Ateneo. Buenos Aires. 239 pp.

Ramos C (1996) Effect of agricultural practices on the nitrogen losses to the environment. Fertilizer Research 43:183-189.

Roper M, J Turpin & J Thompson (1994) Nitrogenase activity (C2 H2 redution) by free-living bacteria in soil in a long-term tillage and stubble management experiment on a Vertisol. Soil Biol. Biochem. 8:1087-1091.

Roper MM & KM Ophel-Keller (1998) Soil microflora as bioindicators of soil health. In: Biological Indicators of Soil Health. Pankhurst CE, BM Doube & VV Gupta, Eds. CAB International. pp. 157-178.

Schlegel H (1979) Microbiología General. Omega. Barcelona. 447 pp.

Scholes MC, D Powlson & G Tian (1997) Input control of organic matter dynamics. Geoderma 79:25-47.

Schoneau J & C Campbell (1996) Impact of crop residues on nutrient availability in conservation tillage systems. Can. J. Plant. Sci. 76:621-626.

Silver W, S Brown & A Lugo (1996) Biodiversity and Biogeochemical cycles. In: Biodiversity and Ecosistem Processes in Tropical Forest. Orians, Dirzo & Cushman Eds. Springer- Verlag Berlin Heidelberg. pp. 50-67.

Singh H & K Singh (1993) Effect of residue placement and chemical fertilizer on soil microbial biomass under tropical dryland cultivation. Biol. Fertil. Soils 16:275-281.

Smith NC & DP Stribley (1994) A new approach to direct extraction of microrganisms from soil. In: Beyond the Biomass. Ritz K, J Dighton, KE Giller Eds. British Sociaty of Soil Science. Wiley-Sayce Publication. UK. pp. 49-55.

Sparling GP (1998) Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: Biological Indicators of Soil Health. Pankhurst CE, BM Doube & VV Gupta, Eds. CAB International. pp: 97-119.

Tiedje JM, S Asuming-Brempong, K Nusslein, TL Marsh & SJ Flynn (1999) Opening the black box of soil microbial diversity. Applied Soil Ecology 13:109-122.

Tiessen H, E Cuevas & IH Salcedo (1998) Organic matter stability and nutrient availability under temperate and tropical conditions. In: Towards Sustainable Land Use. Blume PH, H. Eger, E Fleischhauer, A Hebel, C Reij & KG Steiner, Eds. Advances in Geoecology 31. Catena Verlag. Reiskirchen. pp 415-422.

Toresani S, E Gomez, B Bonel, V Bisaro & S Montico (1998) Cellulolitic population dynamics in a vertic soil under three tillage systems in the Humid Pampa of Argentina. Soil and Tillage Research 49:79-83.

Torres P & A Abril (1996) Dinámica microbiana del suelo en un desmonte selectivo del Chaco Arido Argentino. Ciencia del Suelo 14 :30-36.

Van Gestel M, R Merckx & K Vlassak (1993) Microbial biomass respons to soil drying and rewetting: the fate of fast and slow- growing microorganisms in soil from different climates. Siol Biol. Biochem. 25:109-123.

Waid JS (1999) Does soil biodiversity depend upon metabiotic activity and infuences? Applied Soil Ecology 13:151-158.

La agricultura orgánica

Mariana del Pino

1. Antecedentes históricos de la agricultura orgánica en el mundo

A principios de siglo, contraponiéndose a la modernización de la agricultura, comenzaron a gestarse distintos movimientos ecológicos que en la década de los ochenta se plasmaron en alternativas a la agricultura dominante.

Como movimiento precursor se puede citar al impulsado por Rudolf Steiner que promulgó la necesidad de una alimentación sana y equilibrada basada en varios principios de la agricultura ecológica, como la comprensión del suelo como un organismo vivo.

Los grandes cambios a nivel mundial y el impacto de las dos guerras mundiales retrasaron el afianzamiento de estos movimientos hasta después de la segunda guerra mundial.

La agricultura ecológica nace como un proceso de cambio a nivel mundial como respuesta a lo que se podría llamar la "agricultura química" o Revolución Verde, que tuvo su mayor auge en la década de los '70. Ésta se basó principalmente en la utilización de insumos externos como los fertilizantes y los agroquímicos, en la mecanización de las actividades agrícolas y el mejoramiento genético, con el objetivo de maximizar los recursos y lograr los mayores índices de producción, sin considerar la sustentabilidad del sistema.

Estos paquetes tecnológicos provocaron graves alteraciones - algunas irreversibles - sobre:

• el equilibrio biológico: desertificación, erosión de los suelos, erosión genética, aparición de nuevas plagas y enfermedades, pérdida de materia orgánica.

• la salud humana: ingestión de residuos tóxicos, alteración de la calidad natural de los alimentos, malformaciones humanas.

• el equilibrio económico: dependencia de los paquetes tecnológicos por parte de los productores, concentración de los recursos productivos, desarrollo de tecnologías no accesibles para todos los estratos sociales de productores con la consecuente marginación.

En Europa, a finales de la década de los '60 y principios de los '70, surgen numerosas organizaciones en defensa de la agricultura ecológica. Así se crean diversas escuelas que, como eje común, promueven el respeto a la naturaleza y a sus ciclos naturales, la sustentabilidad del sistema y el no uso de productos químicos de síntesis (Tabla 1). Estas escuelas como la alternativa, la orgánica, la ecológica, la biodinámica, la agroecológica y la regene-

rativa, entre otras, van extendiéndose por el mundo hasta que, a fines de los '80, se instalan como un sistema de producción alternativo al dominante en esta década.

En América Latina, las ONG's promovieron la agricultura ecológica advirtiendo los peligros del uso de pesticidas y las prácticas expoliativas de producción. Se promovieron antiguas y eficientes prácticas indígenas en zonas marginales, se interpretaron erróneas prácticas agrícolas y se mejoraron las técnicas de producción en las zonas de mejor aptitud para la agricultura.

Tabla 1

Distintas corrientes de la agricultura ecológica

Agricultura orgánica (Altieri, 1983)	**Estrategias usadas:** rotación de cultivo, abonos de animales, leguminosas, abonos verdes, desechos orgánicos provenientes de afuera del predio, labranza mecánica, rocas de minerales, control biológico de plagas.
Agricultura ecológica (La Era Agrícola, 1993) (Rodríguez, 1993)	**Objetivos:** lograr sistemas de producción y de distribución que tiendan a la sostenibilidad, a la justicia social, y a una cultura diversa, manteniendo y mejorando la calidad de vida al productor, sirviendo las necesidades locales de la comunidad. **Estrategias:** evitar el uso de fertilizantes sintéticos, pesticidas, aditivos químicos y promotores de crecimiento. Fomentar la diversidad de especies animales y vegetales, el reciclaje de nutrientes y del agua, que permita la permanencia y mejoramiento de estos recursos y un manejo del ecosistema en forma integral.
Agricultura natural (La Era Agrícola, 1993)	**Promotor:** Masanobu Fukuoka. **Principios y estrategias:** mantenimiento de los sistemas de producción en similitud con los encontrados en la naturaleza. Uso de podas naturales, ciclos lunares, uso mínimo de maquinaria, asociación de cultivos para controlar las plagas y malezas.
Agricultura biodinámica (Richter, 1994; La Era Agrícola, 1993)	**Promotor:** Rudolf Steiner **Prácticas usadas:** enriquecimiento del suelo con materia orgánica y compost, uso de preparados específicos, atención a los ritmos planetarios estelares.
Agricultura regenerativa (La Era Agrícola, 1993)	**Promotor:** J. Rodale **Principios:** incremento progresivo de los niveles de productividad y aspectos biológicos del suelo.

Este movimiento trae aparejado grandes cambios culturales, sociales y económicos ante "el despertar de la conciencia ecológica", que reacciona al modelo dominante y toma cada vez más fuerza en su crecimiento.

No sólo modifica los cánones tradicionales de producción y del gran sistema alimentario, sino que penetra en el campo de la justicia social y promueve el desarrollo de sistemas basados en la igualdad de oportunidades, al promulgar modificaciones en la actual distribución de los recursos y en el sistema de comercialización tradicional que reproduce relaciones de dependencia económica.

2. La sustentabilidad dentro de la agricultura ecológica

Por sustentabilidad se entiende la capacidad de la agricultura para sostener la vida en la actualidad y en el futuro, fortaleciendo y preservando los ciclos naturales y la biodiversidad, basada en un desarrollo rural integrado y armónico (Framtisdjorden, 1994).

Sin sustentabilidad no se concibe la agricultura, y por lo tanto menos aún la agricultura orgánica o ecológica, que se opone en sus objetivos a una agricultura meramente productivista.

La agricultura orgánica guarda un profundo respeto por las generaciones presentes y futuras, ya sean hombres, mujeres, niños o cualquier otro tipo de organismo vivo. Por lo tanto, uno de los objetivos básicos de la agricultura ecológica es que sus prácticas sean sustentables en el tiempo.

A pesar de que no existen aún claros índices de sustentabilidad, se sabe que algunas prácticas que promueve la agricultura ecológica (labranzas mínimas, preservación de la flora y fauna espontánea, conservación o aumento de la materia orgánica, no uso de pesticidas) atienden más este objetivo que la agricultura convencional u otros tipos de procesos productivos.

3. Principios de la agricultura ecológica

Aún existe el prejuicio acerca de que la agricultura ecológica se trata sólo de "no usar agroquímicos y cobrar por eso un premio". En realidad, además de los principios filosóficos que motivan a los promotores la agricultura ecológica, todas las corrientes tienen una base científica profunda que es atender las necesidades de los organismos vivos en determinados ambientes y aprovechar al máximo los recursos existentes en el ecosistema, en concordancia con los equilibrios naturales.

Se puede considerar a la "trofobiosis" y a la "biodiversidad", como los dos principios básicos que guían a la agricultura ecológica.

3.1. Trofobiosis

Esta teoría, difundida por María José Guazzelli en Brasil y en el mundo, fundamenta la causa por la cual algunas plantas y animales sufren ataques de insectos y enfermedades mientras que otras no.

Etimológicamente la palabra significa "trofo"-alimento- y -"biosis"- existencia de vida, y hace referencia a que "existen organismos vivos que en determinadas plantas encuentran un alimento adecuado, del cual se alimentan, permanecen y se reproducen" (Chaboussou, 1987).

La teoría enuncia que "todo proceso vital se encuentra sobre la dependencia de la

satisfacción de las necesidades nutricionales del organismo vivo, sea vegetal o animal" (Chaboussou, 1987) o sea que una planta o un órgano será atacado solamente en la medida en que su estado bioquímico, determinado por el tenor en sustancias solubles nutricionales (de proteosíntesis o proteolisis), se corresponda con las exigencias tróficas de los parásitos en cuestión.

Deficiencias o excesos de determinados elementos o microelementos (a veces imperceptibles por los métodos convencionales de análisis), o la aplicación de determinados agroquímicos (que modifican el metabolismo de las plantas), provocan un estado de proteólisis (situación donde predomina la destrucción proteica). Esto determina que la planta sea más susceptible al ataque de insectos y/o enfermedades.

Estas situaciones desfavorables tienden a provocar en la solución vacuolar de las células una acumulación de compuestos solubles, como azúcares y aminoácidos que no han podido ser usados para la formación de proteínas, y favorecen la nutrición de microorganismos patógenos e insectos fitófagos.

Así, plantas nutridas por abonos orgánicos, sin excesos ni deficiencias de microelementos, en suelos con buena proporción y calidad de materia orgánica y sin tratamientos con pesticidas, son más sanas y expresan mejor su potencial productivo.

3.2. Mantenimiento de la biodiversidad

Otro concepto considerado como el otro principio básico de la agricultura ecológica es la conservación o aumento de la biodiversidad.

Si bien en la práctica persiste la idea de que el manejo de la biodiversidad es complejo en cuanto al uso de sus beneficios, se sabe que la simplificación de la biodiversidad afecta a muchas funciones del agroecosistema y que los sistemas de cultivos simplificados aumentan la inestabilidad y empeoran los problemas de plagas (Gómez, 1996).

El objetivo práctico es crear una arquitectura lo más diversa posible, que preserve y aumente la biodiversidad.

4. Estrategias usadas en la agricultura ecológica

Las prácticas de la agricultura ecológica consisten en una variedad de opciones técnicas de manejo utilizadas con el objetivo de reducir costos, intensificar las acciones biológicas y benéficas de procesos naturales, proteger la salud y el medio ambiente (Restrepo, 1996).

Las estrategias interrelacionadas que permiten el manejo orgánico básico son:

- Labranzas mínimas
- Optimización del ciclo de la materia orgánica
- Reciclaje de nutrientes

- Fomento de la biodiversidad
- Rotación y diversificación de cultivos
- Selección de variedades apropiadas
- Satisfacción de las necesidades de las plantas
- Métodos de prevención de plagas y enfermedades
- Uso de control biológico

4.1. Manejo ecológico del suelo

La agricultura ecológica considera al suelo como un medio vivo donde, según las prácticas que se realicen se obtendrán distintos resultados, por sus efectos directos e indirectos sobre el mismo.

Se trata de lograr un "suelo represivo" o "resistente", considerando como tal a un suelo en el que un patógeno encuentra dificultades para instalarse y persistir, y si lo hace, puede causar enfermedades en forma esporádica, ocasionando daños muy leves o casi nulos (Baker & Cook, 1974, cit. Schneider, 1982)

Este fenómeno está basado en mecanismos de antibiosis, parasitismo, predación y competencia.

Existen algunas prácticas que favorecen la manifestación de la "resistencia" sobre el suelo, algunas de las cuales son las que se utilizan comúnmente en la agricultura ecológica.

Las estrategias básicas para el manejo del suelo en la producción ecológica son:

- reciclaje de nutrientes
- labranza mínima y/o vertical
- rotaciones adecuadas de cultivos
- uso de abonos verdes
- incorporación de la mayor cantidad posible de materia orgánica
- máximo aprovechamiento de la materia orgánica del propio establecimiento (barbechos, rastrojos, plantas espontáneas, arbustos, deshechos)

Las causas comúnmente consideradas como las más importantes por las cuales se ejerce un efecto benéfico en la sanidad del suelo y del cultivo por el agregado de materia orgánica son (Villeneuve, 1997):

- regulación cuantitativa y cualitativa del nitrógeno disponible
- estimulación global o selectiva de la microflora antagonista
- liberación de compuestos inhibidores

Los abonos usados en la agricultura ecológica son: lombricompuesto o vermicompost, compost o compuesto, mantillo de bosque, estiércoles, coberturas, abonos verdes y abonos foliares derivados de sustancias orgánicas, ya sean animales o vegetales.

4.2. Manejo de plantas espontáneas

Las plantas espontáneas ("malezas") juegan un importante rol como recicladoras de nutrientes. Muchas de ellas retienen nutrientes que de otra manera se perderían del sistema (ortiga - *Urtica urens* L., caapiqui - *Stellaria media* L. -, quinoa *Amaranthus spp*.) y otras aportando nutrientes que no llegan a las capas más superficiales (nabiza - *Raphanus raphanistrum* L.-).

Dentro de la agricultura ecológica, son consideradas como "plantas indicadoras", ya que indican la situación del suelo, su composición nutricional y estado físico, como así también su grado de evolución.

Hay varias interacciones que ocurren entre un suelo y sus plantas indicadoras:

La protección, con especies provistas de espinas o especies estoloníferas, que cubren rápidamente el suelo.

Las estructura del suelo se beneficia a través de los diferentes sistemas radiculares, que pueden romper capas compactadas, mejorar la aireación y además aportar materiales celulolíticos y hongos filamentosos, con un papel importante en la formación de una bioestructura grumosa.

Intervienen también en la desintoxicación y reciclaje de nutrientes, por ejemplo las gramíneas en general, así como *Pteridium sp.* son concentradoras de sílice. La oferta de este elemento en forma orgánica después del final del ciclo de estas plantas, propicia un aumento de la absorción y la disponibilidad de fósforo.

Las raíces de las gramíneas también son excelentes recuperadoras del potasio lixiviado de las hojas por la lluvia, que es entonces almacenado en forma orgánica, retornando al ciclo biológico.

Las leguminosas, junto a *Pteridium sp*., el llantén (*Plantago major* L.), el diente de león (*Taraxacum officinale* Weber), y el trigo sarraceno (*Fagopirum esculentum* M.), concentran calcio y magnesio, elementos que también son fuertemente lixiviados de las hojas de los árboles y del suelo por las lluvias de invierno. *Pteridium sp.* también concentra aluminio, reduciendo su presencia en el suelo.

La nabiza (*Raphanus raphanistrum* L.) concentra boro y manganeso e indica su falta de disponibilidad en el suelo.

La quinoa (*Amaranthus spp*) junto con la verdolaga (*Portulaca oleracea*), entre otras, concentran nitratos que son fuertemente lixiviados de las hojas y del suelo. En un suelo muy rico en nitratos, habrá una predominancia de estas dos especies, cuya función será retenerlos, dentro de ciertos límites, en forma de biomasa propia.

Completado el ciclo, el nitrógeno será devuelto al suelo en una forma orgánica, más estable. Por lo tanto, un exceso de estas especies indica no sólo un suelo rico en nitratos, sino también posibles pérdidas de nitrógeno del sistema, tanto hacia el aire como hacia la napa freática por excesos de abono (Guazzelli & Vivan, 1992).

Además de tener en cuenta estos conocimientos para mantener un suelo sano y vivo, en horticultura específicamente, se practican varios métodos para evitar competencias de plantas espontáneas con los cultivos:

- control por métodos térmicos
- control por métodos biológicos
- coberturas vivas o muertas
- solarización
- técnicas tradicionales (carpidas o escardas manuales o mecánicas) mejoradas y controladas

4.3. Pautas para el control de insectos y enfermedades

En la agricultura ecológica se trata de hacer un trabajo preventivo, mejorando al máximo posible las condiciones de suelo, el manejo del cultivo y su nutrición, es decir, su resistencia general. Si esto no fuese suficiente existen en cada corriente distintos tipos de control a seguir, pero generalizando se disponen de pocas medidas curativas para "combatir" enfermedades e insectos en la agricultura ecológica (Elzakker, 1995).

5. Comercialización

5.1. Relevancia de los alimentos ecológicos en el mercado

Los alimentos derivados de la agricultura ecológica aparecen en el mercado por iniciativa de productores ecológicos y militantes ecologistas, con el objetivo de promover este nuevo tipo de agricultura entre la población y alertar sobre los problemas que acarrea la agricultura convencional.

Así se inserta en el mercado un alimento, que a pesar de que no asegure que esté totalmente libre totalmente de residuos de pesticidas[1], es considerado más sano, con mejor calidad biológica, y proveniente de una agricultura que no afecta al medio ambiente ni a los trabajadores rurales. En los últimos años, con la difusión de los probables perjuicios que ocasionan los alimentos industrializados, aparece una demanda cada vez más clara de un consumidor exigente en cuanto al origen y composición de los alimentos que consume.

En los países de Europa y en Estados Unidos la venta de productos ecológicos ha experimentado un importante crecimiento en los últimos años. En 1997 en Estados Unidos el sector ecológico facturó 3550 millones de dólares, que representan el 1,5% del

1 La certificación de los alimentos ecológicos asegura un proceso productivo acorde a la normativa ecológica vigente para cada certificadora o país, que en algunos casos pueden tolerar ciertos residuos existentes en el suelo antes del inicio del proceso ecológico.

mercado alimentario y su crecimiento sigue a un ritmo del 20% anual (Vida Sana, 2000).

En Europa el aumento de las tierras bajo producción ecológica de 1998 a 1999 fue de un 46,2%. Algunos países como Alemania, muestran una fuerte demanda facturando un monto aproximado de 2953 millones de dólares, que representa el 2,7 % del mercado alimentario (Vida Sana, 2000).

Algunos países destinan gran parte de su producción ecológica a la exportación, principalmente alimentos como café, cacao y bananas, entre otros.

La producción ecológica argentina también se destina a los mercados externos en los que, desde 1996, se comercializa entre el 85 y el 95 % de la producción total (SENASA, 2000) ya que al tener el reconocimiento del sistema de certificación por la Unión Europea, la exportación de productos tradicionales (trigo, girasol, soja, cítricos) producidos en forma ecológica tiene fuertes ventajas competitivas. En el mercado interno, el mayor rubro fue ocupado en los primeros años por verduras y hortalizas frescas, aunque año tras año otros rubros van tomando cada vez mayor importancia.

Otros países de América Latina como Brasil, Costa Rica y Uruguay desarrollaron ya importantes mercados ecológicos.

5.2. Precios

Los precios de los alimentos ecológicos suelen ser mayores que los convencionales. En Europa y Estados Unidos se estima que superan el 30% sobre los convencionales.

En Argentina, en los comienzos de la venta de alimentos ecológicos en supermercados (1991), los precios al público eran excesivamente superiores a los convencionales, luego fueron bajando y actualmente, aunque en general existe un sobreprecio, éste varía mucho según el tipo de producto, la época del año y el punto de venta.

De todos modos, el sobreprecio de los productos orgánicos, justificado o no según los distintos casos, es un importante obstáculo para una difusión masiva de estos productos en el mercado, según lo reflejan distintas encuestas realizadas en diferentes países (del Pino, 1995; del Pino *et al.*, 1997).

Los sobreprecios se deben a diferentes razones como menores rendimientos, menor escala, que implica mayor incidencia de costos fijos, mayores costos de logística y distribución que encarecen al producto final.

Sin embargo, productores y otros operadores de este mercado se esfuerzan día a día trabajando con menores márgenes para que estos alimentos lleguen a precios accesibles al público y dejen de ser productos para elites.

En la mayoría de los países estos consumidores están asociados a un poder adquisitivo más alto, aunque un mayor poder adquisitivo relativo no implica siempre una mayor predisposición de compra (del Pino, 1995).

Tabla 2

Precios de venta al público de verduras ecológicas en supermercados en Buenos Aires, Argentina

Supermercado "La Gran Provisión", año 1991 (en dólares)

VARIEDAD	ORGANICA	CONVENCIONAL	% SOBREPRECIO
Acelga	1,83	0,39	370
Brócoli	2,83	2,17	76
Espinaca	2,99	1,69	77
Francesa	3,99	2,03	97
Morada	3,99	2,03	97
Perejil	4,38	2,03	116
Puerro	1,80	1,04	73
Remolacha	2,12	0,90	136
Rep. Blanco	1,46	0,96	52
Rep. Colorado	1,46	1,35	8

Fuente: del Pino, 1995.

Supermercado Jumbo, año 1993. (En dólares)

VARIEDAD	ORGANICA	CONVENCIONAL	% SOBREPRECIO
Acelga	1,59	1,79	- 12
Brócoli	3,95	3,90	1
Francesa	3,40	3,40	0
Morada	3,40	3,40	0
Perejil	3,90	2,99	34
Puerro	3,90	3,90	0
Remolacha	2,90	2,90	0
Rep.blanco	1,49	1,49	0

Fuente: del Pino, 1995.

Supermercados Jumbo, año 2000. (En dólares).

VARIEDAD	ORGANICA	CONVENCIONAL	% SOBREPRECIO
Acelga	0,89	0,75	19
Brócoli	2,29	2,29	0
Francesa	2,59	1,59	63
Morada	1,99	2,59	-23
Perejil	2,59	2,59	0
Puerro	2,59	2,59	0
Remolacha	1,59	1,39	14
Rep.blanco	0,79	0,79	0

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos del 15/03/00.

6. Confianza y certificación: reglamentación vigente

En sus comienzos, la comercialización de productos ecológicos se realizaba sobre la base de la confianza.

El control de este proceso productivo nace en 1977, el seno de una federación internacional privada no gubernamental, IFOAM (Federación Internacional de Movimientos

de Agricultura Orgánica), para comenzar a armonizar este tipo de producción.

La Unión Europea crea una Regulación (Nº 2092/91) al respecto y Estados Unidos la ley federal en 1990. Actualmente se está trabajando en los lineamientos de la producción para alimentos ecológicos en el contexto del Codex Alimentario, de las Naciones Unidas.

En Argentina la reglamentación de la producción ecológica se dictaminó en 1992, con la Resolución 423/92 de la SAGYP y actualmente existe una ley sobre la producción orgánica que contempla la certificación de este tipo de agricultura.

Actualmente en Argentina todo producto que dice ser orgánico, ecológico o biológico tiene que cumplir con las Normas Argentinas Para la Producción Orgánica, y debe estar certificado por las empresas autorizadas y registradas a tal fin por el organismo de control oficial que es el SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, dependiente de la Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina).

6.1. El proceso de certificación

Es un sistema por el cual se determina la conformidad de un producto o sistema de producción. Se certifica de acuerdo a las normas o estándares de cada empresa certificadora o a la norma que rige en el país.

Los programas de certificación están constituidos por un ente independiente de la producción, la comercialización y el asesoramiento técnico.

Sobre la base de declaraciones del productor, inspecciones a establecimientos, registros y puntos de venta y el aseguramiento de la trazabilidad, se elabora un informe de situación que es evaluado por un Comité Independiente que dictamina la correlación de dicho proceso con la concordancia de las normas vigentes.

7. Comentario final

A lo largo de estos años de camino de la agricultura ecológica y, ante una demanda cada vez mayor de los consumidores por los alimentos derivados de este tipo de agricultura, han sucedido muchos hechos, que merecen ser resaltados.

Se ha desarrollado una importante variedad y cantidad de alimentos provenientes de la agricultura ecológica en el mercado, con índices crecientes año tras año.

Poco después apareció un mercado de alimentos englobados bajo el nombre de "con menores residuos o de menor impacto ambiental" que, en algunas oportunidades, compite con los alimentos ecológicos por falta de información adecuada y sólo marca la creciente demanda por alimentos más sanos, provenientes de un proceso más conocido y transparente.

Se desarrolló una gran burocracia normativa y de control para la producción ecoló-

gica, con homologación internacional sumamente estricta, que resalta la importancia de este tipo de producción dentro de la agricultura mundial.

Es probable que con la expansión e institucionalización de la agricultura ecológica se hayan perdido ciertos valores de fondo que motivaron sus orígenes: una profunda convicción ecologista, el respeto por la naturaleza y su conservación y una mayor responsabilidad social. Sin embargo, estos valores persisten en algunas experiencias y hasta se visualizan diferentes matices de ellos en expresiones públicas de la agricultura ecológica como las normativas, las leyes, las campañas publicitarias y los proyectos de desarrollo.

La agricultura ecológica otorga la libertad de trabajar en armonía con la naturaleza, de re-crear verdaderas y genuinas técnicas de producción agrícolas, y asegura que los alimentos ecológicos son los más confiables y realmente naturales.

Vale la pena entonces, transitar el camino de su ejercicio.

Altieri MA (1983) Agroecología, Bases científicas de la agricultura alternativa, CETAL, Valparaíso, Chile, 184pp.

Chaboussou F (1987) Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos (A Teoria da Trofobiose), Porto Alegre, L&PM, Brasil, 253 pp.

del Pino M (1995) Adopción de propuestas ecológicas integradoras por productores del área hortícola bonaerense, Tesis de grado, Cátedra de Sociología y Extensión Rural, FAUBA, Buenos Aires. 89 pp.

del Pino M, B Nussbaumer, R Benencia (1997) Estrategias de comercialización de productores ecológicos en Argentina, Primera Etapa, Manuscrito para Proyecto 5 de IFOAM Agricultura Orgánica 1999, Contribución de la Agricultura Orgánica al Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, 95 pp.

Framtidsjorden - Fundación Tierra del Futuro (1994), Manuscrito, Informe del Seminario de Agricultura Ecológica de Ladak, India. Estocolmo, Suecia, 11 pp.

Gómez A (1996) Conversión hacia sistemas de producción agroecológicos, CEUTA. Resumen Manuscrito de ponencia en "Simposio sobre producción y comercialización de productos ecológicos", Mesa de Agroecología del Uruguay, Montevideo, Uruguay, 6pp.

Guazzelli MJ & JL Viván (1992) Algunos principios básicos de manejo en agricultura ecológica, Manuscrito para Seminario de Agricultura Ecológica, organizado por Proyecto Pereyra, septiembre de 1992, Buenos Aires, 11 pag.

IASCAV (1992) Normas Argentinas de Producción Orgánica de Origen Vegetal, IASCAV, SAGyP, Buenos Aires, Argentina.

Restrepo J (1996) Abonos orgánicos fermentados. OIT CEDECO, Costa Rica, 51 pág, 1ra. Edición.

Rodríguez A (1993) La Huerta orgánica familiar, REDES y CARITAS, Montevideo, Uruguay, 63 pp.

SENASA (2000) Situación de la producción orgánica en la Argentina durante el año 1999. Dirección Nacional de Fiscalización Agroalimentaria, Direccción de Calidad Agroalimentaria, Coordinación de Producciones Orgánicas, Buenos Aires, Argentina.

Vida Sana (2000) WebSite.

Villeneve F (1997) "Matiere organique y production integree", Revista INFOS Ctifl nº 134, Francia.

Richter M (1994) Revista Mundo Orgánico, Año 1 Nº 4, Grupo Editorial Argedit SA, Buenos Aires, Argentina.

Fundación La Era Agrícola (1993) Revista La Era Agrícola, Nº 17, II Etapa, Mérida, Venezuela, 56pp.

Elzakker B van comp (1995) Principios y prácticas de la agricultura orgánica en el trópico, San José, Costa Rica, 1ra. Edición. Fundación Guilombé, 86 pp.

Schneider, RW (1982) Suppresive Soils and Plant Disease, The American Phytopathological Society St. Paul, Minnesota, US, 88 pp.

El uso de policultivos en una agricultura sustentable

Santiago J. Sarandón y Juana Labrador Moreno

1. Introducción

Una de las principales características de la agricultura moderna es su baja diversidad. De casi 80.000 plantas comestibles que se considera existen, sólo 200 son comúnmente usadas, y unas 12 son consideradas alimentos básicos de la humanidad (FNUAP, 1991). Estas especies son sembradas en extensas superficies, como monocultivos de aquellos cultivares más exitosos, reduciendo drásticamente la diversidad genética y aumentando la fragilidad ecológica del agroecosistema. Debido a la conciencia creciente acerca del impacto de la agricultura convencional, algunos agricultores han comenzado a adoptar prácticas alternativas con el objetivo de reducir los costos de insumos, preservar los recursos y proteger la salud humana. La agricultura sustentable destaca o resalta la necesidad de sistemas más diversificados debido a que ellos tienden a ser más estables y resilientes, reducen los riesgos financieros, y proveen de estrategias contra la sequía, las plagas y otros factores limitantes de la producción (NRC, 1989). Es esencial reconocer la importancia del rol que la biodiversidad juega en la sostenibilidad de estos sistemas (Altieri, 1992) y la forma en que puede utilizarse en sistemas extensivos (Sarandón, 2000a).

Una de las alternativas para lograr la sustentabilidad es el uso de policultivos o cultivos asociados. Esta es una forma de sistemas de cultivos múltiples, donde dos o más cultivos crecen juntos en la misma superficie de tierra durante parte o todo su ciclo. Estos sistemas pueden ser mezcla de diferentes especies o de cultivares, o genotipos de la misma especie, y pueden ser cultivados en franjas, surcos o una mezcla al azar de acuerdo a diferentes diseños o arreglos espaciales.

A pesar de que en climas templados estos sistemas son muy poco utilizados, en varias partes del mundo los policultivos son un componente común del manejo de los agroecosistemas, especialmente como una tecnología de bajos insumos (Bathnagar & Davies, 1981). Esta práctica es muy antigua en varias zonas tropicales, especialmente en países en desarrollo donde entre un 50 a 80% de los cultivos son cultivados en forma consociada. Cerca del 98% del caupí que se cultiva en África es bajo este sistema y 90% de los porotos o frijoles de Colombia se cultivan como policultivos (Arnon, 1972; Gutiérrez, *et al.*,

1975, en Vandermeer, 1989). Como lo ha señalado Francis (1986), el sistema de policultivos tiene su raíz en la historia de la civilización tal como la conocemos hoy.

Bhatnagar & Davies señalaron en 1981: "la creencia de que el uso de policultivos es una práctica anacrónica, improductiva y que sólo es vista como una fase de transición hacia sistemas de monocultivos está tan arraigada, que los científicos en programas nacionales de muchos países en desarrollo aún no otorgan peso a la investigación en estos sistemas". Veinte años después, las cosas no han cambiado demasiado.

A pesar de que la importancia de los policultivos ha sido reconocida (y se practica) desde hace tiempo, sólo desde hace poco ha despertado la atención y el interés de investigadores (Willey, 1981), especialmente como una herramienta ecológicamente apropiada para reducir el uso de insumos externos (Amador & Gliessman, 1990). Una de las razones de este reciente interés puede ser la posibilidad que este sistema brinda para incrementar la productividad de los suelos y hacer un uso más eficiente de los recursos (Hook & Gascho, 1988).

A pesar de esto, el uso de policultivos no es visto como una alternativa acertada en zonas templadas, donde el cultivo de cereales u oleaginosas es lo predominante (Sarandón, 1999). Sin embargo, puede ser adecuado incluso con cultivos extensivos que pueden sembrarse como mezclas de variedades de la misma especie o mezclas de diferentes especies en diseños tales que permitan una agricultura mecanizada y en grandes extensiones.

El objetivo de este capítulo es discutir las ventajas, limitaciones y posibilidades de usar los policultivos para el logro de una agricultura sustentable.

2. Midiendo el comportamiento de un policultivo

Una de las limitaciones al desarrollo de estos sistemas de policultivo es la complejidad para evaluar su comportamiento con relación al monocultivo. Esto está asociado a la dificultad de entender las interrelaciones que se producen entre los componentes del sistema. En este caso, las posibles interacciones de 2 o más componentes de un sistema de cultivo exigen un esfuerzo adicional en los agrónomos y científicos para poder entender y predecir su funcionamiento. En los experimentos con policultivos es necesario medir todo el sistema y no sólo sus componentes. Por lo tanto, se requiere de una concepción holística y sistémica.

Willey (1981) menciona que, aunque algunos científicos aceptan que los policultivos tienen un buen desempeño, aún quedan dudas de lo que esto significa exactamente. Esta confusión radica en que la evaluación de un sistema de cultivos múltiples, debe tener presente 3 posibles situaciones deseables:

1) Que el policultivo rinda más que el cultivo más productivo en monocultivo: Es el caso de las pasturas, mezclas de cultivos muy similares o mezclas de cultivares de la misma especie. Se busca maximizar el rendimiento.

2) Que el policultivo tenga por objetivo el rendimiento de un cultivo principal y algo de rendimiento de un cultivo acompañante.

3) Que el sistema de policultivo rinda más que los mismos cultivos sembrados puros. En este caso el agricultor necesita la producción de todos los componentes del policultivo y no uno sólo. Lo que se busca es el rendimiento del sistema como un todo.

Se han propuesto muchos índices para medir el rendimiento de un policultivo, pero cualquiera sea el método, la base es siempre una comparación entre el comportamiento en el policultivo contra el comportamiento en monocultivo (Vandermeer, 1989).

El método más simple es comparar el rendimiento de la mezcla con el rendimiento de los componentes en monocultivo, ponderando según la proporción de estos en la mezcla. Pero esto brinda poca información sobre el comportamiento de los componentes dentro de la mezcla, lo que puede resultar muy importante si estos tienen distinto valor comercial, por ejemplo, maíz y poroto, girasol y colza, etc.

Otra manera de evaluar el comportamiento de una mezcla es usando índices como la Razón Equivalente de Tierra, *(Land equivalent ratio),* conocida ampliamente como LER o el Rendimiento Relativo Total (Relative Yield Total o RYT). Este índice es muy usado y da una idea de la cantidad o superficie de tierra que se requiere, sembrando los componentes de un policultivo por separado, para obtener el mismo rendimiento que se obtiene cuando ambos crecen asociados. A mayor valor de este índice, mayor ventaja del policultivo respecto a la siembra por separado. Por ejemplo, un valor de 1,3 indica que se necesitarían 1,3 has. de tierra si se sembraran dos cultivos por separado, para obtener lo que se obtendría en sólo 1ha. si se sembraran juntos.

El valor de LER o RYT de una mezcla dada es la suma de los rendimientos relativos de sus componentes comparados con el monocultivo (Silvertown, 1982). LER o RYT es calculado como:

$$RYT = RYij + RYji$$

Siendo $RYij = Yij/Yii$ y $Ryji = Yji/Yjj$

donde *Yij* es el rendimiento relativo del cultivar (o especie) *i* en la mezcla con el cultivar (o especies) *j, Yii* es el rendimiento del cultivar (o especies) *i* cuando crece puro.

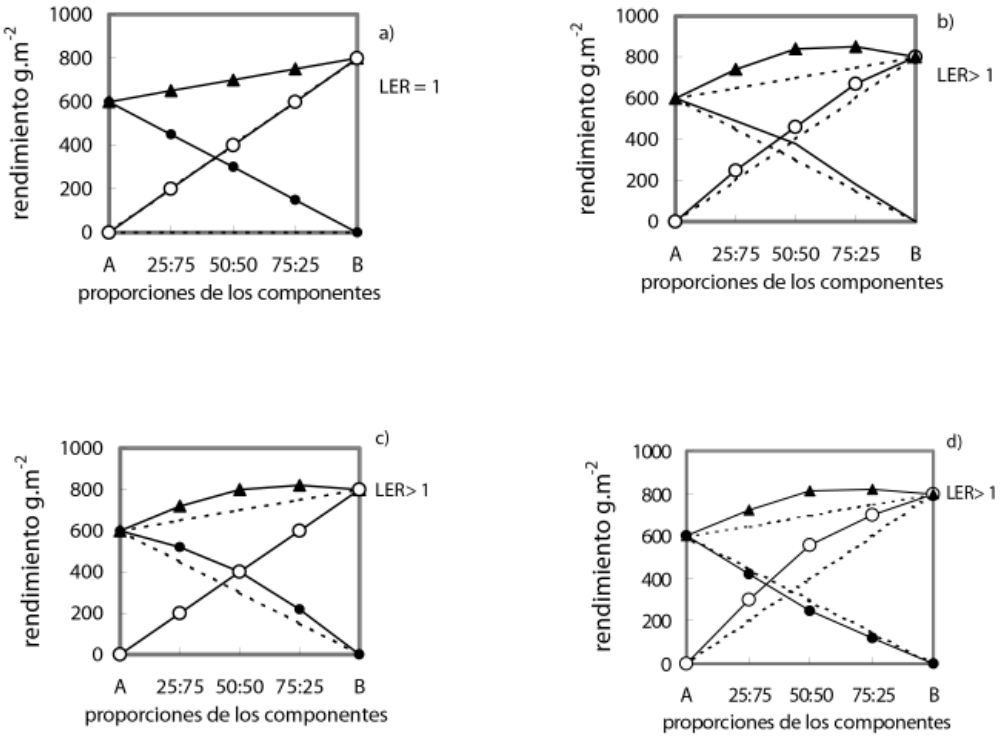
Un valor de RYT o LER mayor a 1 indica un mayor rendimiento o un beneficio del policultivo contra el monocultivo. Un valor igual a 1 indica que no hay ventaja (indiferencia) y un valor menor a 1 indica que el rendimiento o comportamiento del policultivo es peor que el de los cultivos aislados.

Los experimentos para el estudio de los policultivos o mezclas de cultivares utilizan varios diseños. Uno de los más comunes es la "serie de reemplazo" (de Wit, 1960). Este consiste en mantener una densidad fija de cada uno de los componentes, pero variando la proporción de cada uno de ellos en el policultivo de manera tal que la densidad total

se mantenga constante. Este es un diseño especialmente apropiado para el estudio o análisis de mezclas de genotipos o cultivares de una misma especie, donde ambos componentes se siembran a la misma densidad. Algunos casos teóricos del comportamiento de mezclas se han resumido en la Figura 1 y 2.

Figura 1

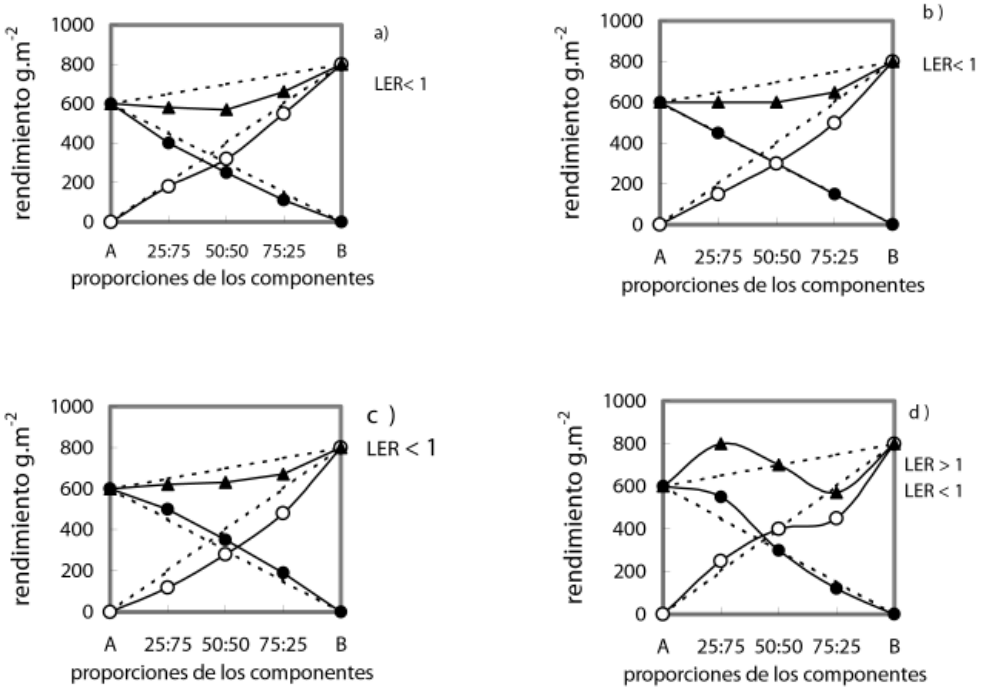
Algunos posibles resultados positivos en una mezcla de componentes en un diseño de serie de reemplazo. Los valores de LER se calcularon como la suma de los rendimientos relativos de los componentes para cada proporción. Las líneas punteadas indican el rendimiento teórico o esperado de no ocurrir interacción entre los componentes. La línea continua indica el rendimiento real.



Cuando no existe interacción entre los componentes de la mezcla, entonces el rendimiento relativo de cada uno de ellos es proporcional a su participación en la mezcla. En este caso, el valor esperado del LER será igual a 1 (Figura 1a). Pero cuando ocurre interacción se pueden observar otros resultados. Cuando el valor del LER es mayor que 1, existen varias posibilidades: que cada componente rinda más en la mezcla que en el

Figura 2

Algunos posibles resultados negativos en una mezcla de componentes en un diseño de serie de reemplazo. Referencias en figura 1.



monocultivo (Figura 1b), que un componente rinda lo mismo y el otro más (Figura 1c) o que uno rinda menos pero el otro componente rinda mucho más que lo esperado de acuerdo a su participación en la mezcla (Figura 1 d).

Similares situaciones aparecen cuando el valor de LER es menor a 1 (Figura 2a, 2b y 2c). Otra posibilidad es que el valor de LER cambie de acuerdo a la proporción entre los componentes. Esto ocurre cuando uno de los componentes rinde más de lo esperado sólo cuando está en minoría (por ejemplo, proporción 1:3) pero rinde menos de lo esperado cuando está en mayoría (3:1). En este caso el valor del LER será mayor que 1 en una proporción, pero menor que 1 en la otra (Figura 2d). Esto indica que la ventaja de los policultivos puede depender, en algunos casos, de la proporción de sus componentes.

Estos ejemplos ilustran sólo algunas de las posibilidades de interacción entre mezclas de 2 componentes y señalan la dificultad de analizar los resultados de los experimentos, especialmente cuando las mezclas están compuestas por más de 2 participantes,

como ocurre en algunos sistemas en zonas tropicales.

Azam-Ali *et al.* (1990) proponen otro índice, el CPR o razón de comportamiento del cultivo (crop performance ratio) como la relación de la productividad de un policultivo por unidad de área de tierra, comparada con la productividad esperada de los cultivos puros sembrados en la misma proporción.

$$CRP_{ab} = (Q_{ia} + Q_{ib}) / [(P_{ia} . Q_{sa}) + (Pib . Qsb)]$$

Donde Q_{ia} y Q_{sa} son, respectivamente, los valores de productividad en policultivo y cultivo solo para el componente a y Pia es la proporción del área de policultivo sembrada con el componente *a*.

Según sus autores, este índice no es equivalente al LER y resulta más adecuado para medir la eficiencia de captura de algún recurso por parte del policultivo.

Otra forma de medir el comportamiento o utilidad de una mezcla, que tiene en cuenta, además, los aspectos económicos, es el índice de ventaja del policultivo, propuesto por Banik (1996). Para los casos en que los dos cultivos tienen diferente valor económico, se ha propuesto tomar como indicador el valor del componente más importante. Por ejemplo, Rezende & Ramalho (1994), para el análisis de un sistema maíz-poroto proponen el uso del rendimiento de maíz equivalente (RME, Ramalho *et al*, 1983), como:

$$RME = Ym + x\ Yp$$

Donde *RME*: es el rendimiento equivalente de maíz, *Ym*= rendimiento del maíz, *Yp*: rendimiento del poroto y *x*: relación de precios entre ambos cultivos.

Esto es especialmente importante en aquellos casos donde el valor de cada componente es distinto y donde el rendimiento económico puede no estar asociado a la obtención del mayor rendimiento biológico.

3. Bases ecológicas del comportamiento de los policultivos

Para poder desarrollar con éxito un sistema de policultivo o una mezcla de cultivares es fundamental entender los mecanismos ecológicos que pueden provocar un mayor rendimiento en un policultivo.

De acuerdo con el modelo propuesto por de Wit (1960), y para mezclas de cultivares por Stützel & Aufhammer (1990), el rendimiento biológico de cada componente de un policultivo es estrictamente proporcional a la cantidad de recursos del ambiente que puede adquirir. Por lo tanto, el incremento proporcional en uno de los componentes, será igual a la disminución proporcional en el rendimiento de biomasa del otro componente. Esta idea supone que los recursos son limitados y que lo único que puede hacer-

se es compartirlos, pero nunca aumentarlos. Sin embargo, algunos autores, como Smithson & Lenée (1997), analizando resultados de varios experimentos, encontraron valores mayores que los esperados para biomasa y rendimiento en grano en mezclas, indicando que es posible obtener un efecto sobrecompensatorio. Por lo tanto, una mezcla puede ampliar (y no sólo distribuir) los recursos disponibles.

Esta mayor productividad de los sistemas de alta diversidad, compuestos por varias especies, y la disminución de la misma en sistemas con menor número de ellas, fue demostrado recientemente en un experimento llevado a cabo en 8 localidades de Europa (Héctor *et al.*, 1999). Para estos autores, la complementariedad de nichos y las interacciones positivas entre especies parecen representar un papel importante en generar las relaciones de diversidad-productividad.

Vandermeer (1989) señala dos principios que pueden explicar los mecanismos de mayor rendimiento en policultivos comparados con los cultivos puros. Estos son el *principio de producción competitiva y el principio de facilitación.*

Cuando una especie o genotipo tiene un efecto sobre el ambiente, que causa una respuesta negativa en el otro componente de la mezcla, pero, aún así, ambos pueden utilizar más eficientemente los recursos necesarios cuando crecen juntos que cuando lo hacen separados, estamos en presencia del *principio de producción competitiva.* Existe competencia, pero esta no es completa, sino parcial. Esto significa que dos o más cultivos usan diferentes componentes del ecosistema o que usan el mismo pero lo explotan de diferente manera (espacial y temporalmente) explorando diferentes nichos ecológicos (nichos parcialmente superpuestos). Esto sucede, por ejemplo, cuando dos especies tienen diferentes ritmos de demanda de N, de agua, o una diferente capacidad de exploración de sus raíces. Pero no siempre se da el fenómeno de producción competitiva. Puede haber competencia por los mismos recursos (nichos superpuestos) y en ese caso, el resultado es negativo.

El *principio de facilitación* es cuando una especie modifica el ambiente de tal manera que beneficia a la segunda especie o genotipo. Este sería el caso de una planta que sea hospedera de un enemigo natural de una plaga de la planta acompañante. En este caso la asociación de ambas plantas produce un beneficio que desaparece cuando están separadas.

Los fenómenos de competencia y facilitación pueden darse juntos, y el resultado final del policultivo dependerá de cual de los dos prevalezca.

De acuerdo con Vandermeer (1989), aunque ambos principios pueden actuar simultáneamente, cuando el rendimiento relativo (o LER parcial) de uno de los componentes del policultivo es mayor a 1, es porque debe estar operando algo más que el principio de producción competitiva. Cuando la competencia es mayor que el beneficio de la facilitación, entonces el valor del LER será menor que 1 y el comportamiento del policultivo es peor que el del cultivo puro. Este puede ser el caso del comportamiento de algunas mezclas de cultivares desarrolladas para disminuir el daño de enfermedades: en presencia de la enfermedad, el comportamiento de la mezcla puede ser mejor que el de los cultivos puros pues predomina el efecto de facilitación por sobre el de competencia;

en ausencia de la enfermedad, el efecto de la competencia entre los componentes de la mezcla puede ser mayor que el beneficio de la resistencia al patógeno y el resultado final de la mezcla puede ser peor que el de los cultivos puros.

La relación entre competencia y facilitación puede depender también de la densidad de siembra de los componentes y de las prácticas agronómicas tales como la fertilización o el riego, lo que sugiere la importancia de elegir una adecuada combinación de los componentes de la mezcla para cada condición de cultivo. En una experiencia con mezclas de dos variedades de trigo sembradas en distintas proporciones, Sarandón & Sarandón (1995) encontraron que la mezcla produjo más biomasa que el mejor cultivar sólo cuando las variedades se encontraban en una determinada proporción (33:67) y no en las otras (50:50 o 67:33). Además, este comportamiento fue más evidente en las parcelas no fertilizadas con N, lo que sugiere que las diferencias entre cultivares pueden incrementar el aprovechamiento de los recursos pero, dependiendo de la proporción y las condiciones ambientales, el efecto de la competencia puede ser también importante.

Por lo tanto, para obtener una alta producción en una mezcla, la combinación óptima dependerá, no sólo de los componentes elegidos, sino también de la proporción relativa entre ellos. Este aspecto no fue tenido en cuenta, por ejemplo por Trenbath (1974), quien analizó los resultados de productividad de biomasa sólo en mezclas con proporción 1:1 de sus componentes. Tampoco fue considerada por Knott & Mundt (1990) quienes propusieron que la habilidad combinatoria de los cultivares debería ser examinada y evaluada en mezclas con proporción 1:1.

4. Comportamiento de los policultivos

El beneficio del uso de policultivos y el rol que esta tecnología o sistema puede cumplir en una agricultura sustentable se basa en dos grandes aspectos: un mejor comportamiento ante la presencia de adversidades: enfermedades, malezas y plagas; o una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

4.1. Comportamiento de los policultivos ante las situaciones adversas

4.1.1. Plagas

Las plagas constituyen una seria limitación para agricultores de escasos recursos. Sin embargo, el potencial de uso de los policultivos como una herramienta en el manejo integrado de plagas no ha sido explotado plenamente, pese a que existen en la literatura algunos resultados promisorios.

La regulación poblacional de los insectos herbívoros en sistemas de cultivos múltiples a través de medios físicos (protección contra el viento, ocultamiento, sombreo, alteración del color, o la forma) o la interferencia biológica (presencia de estímulos químí-

cos adversos, presencia de parasitoides etc.) ha sido destacada (Bathnagar & Davies, 1981) y provee de numerosas oportunidades para el desarrollo y profundización de estas líneas de investigación.

Muchas veces la efectividad del policultivo contra las plagas puede estar limitada a una etapa del desarrollo del cultivo y no a todo el ciclo de crecimiento. La prevención de las pérdidas causadas por plagas en todas las etapas de crecimiento del cultivo requerirá inicialmente un estudio de la naturaleza y severidad del problema en la región, seguido de la identificación de aquellos factores responsables del aumento de las pérdidas de rendimiento por plagas (Bathnagar & Davies, 1981).

Existen muchos factores a tener en cuenta en el diseño de experimentos adecuados para obtener recomendaciones válidas del comportamiento de determinadas asociaciones de cultivos. Al respecto, una serie de experimentos desarrollados ente 1974 y 1975 por el Instituto Internacional de Investigación en Cultivos para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT) reveló que los diseños con poca cantidad de cultivos y en grandes parcelas eran esenciales para obtener y detectar datos relevantes del comportamiento de los policultivos contra las plagas. En este sentido, las parcelas deben ser suficientemente grandes para que actúen como bloques ecológicos.

El uso de los policultivos para el manejo de plagas incluye varias posibilidades que van desde la asociación de diferentes especies hasta la mezcla de diferentes genotipos o cultivares de la misma especie. La elección de uno u otro sistema debe tener en cuenta las características agroecológicas de los sistemas elegidos, el grado de mecanización los recursos disponibles por los productores, entre otros factores.

a) Mezclas de especies

La mezcla de diferentes especies es una alternativa que puede dar buenos resultados en el manejo de plagas, al aumentar la biodiversidad de los sistemas. El efecto de los policultivos sobre las poblaciones de plagas puede deberse a diferentes mecanismos.

García & Altieri (1992) estudiaron el efecto de la diversificación de los cultivos de brócoli sobre el comportamiento de un escarabajo plaga (*Phyllotreta cruciferae* Goeze). Para ello intersembraron cultivos de brócoli con *Vicia sativa* y *Vicia faba* y compararon su comportamiento con el monocultivo de brócoli. Evaluaron, mediante recapturas, el movimiento del coleóptero dentro de estos tres sistemas. Para ello marcaron grupos de 350 individuos, cada uno con un color, que fueron colocados dentro de cada unos de los 3 sistemas, luego de haber eliminado, por aspiración de vacío, todos los insectos. Después de 24hs, el recuento de individuos de cada color (o sin color, si provenían de fuera de los sistemas) en cada parcela, permitió comprobar que el monocultivo de brócoli atraía a los coleópteros de las parcelas de policultivo y a su vez, de fuera de estos sistemas. Por otro lado, se observó una emigración de coleópteros desde las parcelas de policultivo hacia las de monocultivo y hacia fuera del sistema. Ningún individuo que abandonó el monocultivo se trasladó hacia las parcelas diversificadas. Este experimento permitió comprobar que, en este caso, las parcelas diversificadas eran

una estrategia adecuada para disminuir el efecto de las plagas al interferir con la localización y permanencia de los coleópteros, posiblemente debido a los olores, colores o formas del policultivo que disminuyen el estímulo atractivo del monocultivo. A su vez, en sistemas complejos, el patrón de movimiento de la plaga puede ser diferente y menos eficiente que en el policultivo. En el ejemplo anterior, cuando un individuo de la plaga abandonaba una planta hospedante, posiblemente aterrizaba en una planta no hospedera, en la cual tenía que efectuar un movimiento ascendente para luego buscar otra planta adecuada. Además, aunque no se ha comprobado con este experimento, es posible que el hábitat más complejo del policultivo haga a estos coleópteros más vulnerables a la predación por hormigas o arañas, las que son muy comunes en parcelas con vegetación diversificada (García & Altieri, 1992).

No siempre los cultivos asociados logran su objetivo con la plaga deseada. En un experimento en el Sudoeste de Estados Unidos se evaluó un sistema de repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) intercultivado con mostaza de la India *(Brassica juncea),* como una manera de controlar o disminuir la incidencia de un lepidóptero, la polilla de las coles (*Plutella xylostella* L.), la principal plaga de este cultivo en la zona (Bender *et al*., 1999). Se esperaba que la mostaza actuara como cultivo trampa, es decir, que fuera preferido por los insectos en lugar del cultivo principal, el repollo. Sin embargo, la mostaza no pareció ser más atractiva que el repollo para las larvas de este lepidóptero, como había sido reportado en otros experimentos realizados en la India (Srinivasan & Krishna Moorthy, 1991). En cambio, las plantas de mostaza sí resultaron mucho más atractivas para los hemípteros, especialmente para otra plaga importante de este cultivo, la chinche arlequín *Murgantia histrionica* (Hahn.). En uno de los años, con alta presión de esta plaga, el intercultivo evitó dos aplicaciones de insecticidas al repollo.

Este experimento sugiere que el efecto del intercultivo y la efectividad de los cultivos trampa suele ser a veces, muy específico y que no puede generalizarse como receta. A su vez, la variedad de mostaza usada en el experimento de Estados Unidos no fue la misma que la que mostró buenos resultados en India, lo que sugiere que pueden existir propiedades asociadas a los genotipos y no a la especie.

La distancia y distribución de las plantas consociadas es muy importante en el diseño de sistemas de policultivos. Potts & Gubnadi (1991), condujeron experimentos en Java, Indonesia, para probar el efecto de la intersiembra de papa y cebolla sobre las poblaciones de algunos insectos. Encontraron que las poblaciones de *Henosepilachna sparsa* pudieron ser reducidas a niveles donde no hizo falta el uso de insecticidas y que el ritmo de aumento de la población del áfido pudo ser mantenida por debajo del nivel de aquellas plantas donde se aplicaba deltametrina semanalmente. El policultivo redujo también las poblaciones de *Myzus persicae, Aphis gossypii y Empoasca spp,* cuando la separación entre las plantas de papa y cebolla fue menor de 0,75m., pero no a mayores distancias.

El intercultivo con cebolla también mostró efectos positivos contra *Psila rosae* (F) "carrot fly" una plaga que ataca las raíces de los cultivos de zanahoria (Varis, 1991). Se probó el sistema de intersiembra de zanahoria con cebolla durante 7 años, en varios experimentos.

En 12 de 16 casos se observaron menos daños en las plantas de zanahoria adyacentes a las de cebolla que a las que crecieron solas. No se observaron, además, diferencias visuales en el crecimiento de las plantas de zanahoria cuando crecieron en intercultivo con las de cebolla.

Las plantas acompañantes también pueden modificar la susceptibilidad de la planta hospedante ante el ataque de niveles similares de plagas. Esto es lo que surge de un experimento realizado con crisantemo (*Deandrathema randiflora* Tzvelev) intersembrado con trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.) para analizar el comportamiento del crisantemo ante el trips *Frankliniella occidentalis* (den Belder *et al*., 1999). El ensayo buscaba comprobar si para crisantemo podía darse una disminución del daño y nivel poblacional de este trips, como era citado para frutilla consociada con poroto (González Zamora *et al*., 1994), en pimiento asociado con tomate (Nihoul & Hance, 1994) y en poroto pintado asociado con maíz dulce (Capinera *et al*., 1985). A su vez, específicamente el intercultivo con trébol había demostrado reducción en la población de otro trips *(Thrips tabaci)* en puerro, repollo e hinojo. Por lo tanto, podía esperarse un efecto similar en crisantemo intersembrado con trébol subterráneo. Sin embargo, se encontró que la presencia del trébol no sólo no disminuyó los niveles poblacionales del trips, sino que, ante un mismo nivel de ataque, las plantas de crisantemo que estaban consociadas con trébol, presentaban mayores daños que las que estaban solas. Concluyen que la calidad del alimento puede ser modificada por el cultivo acompañante y que esto habría motivado el mayor daño. A diferencia de lo sugerido para otros cultivos asociados, la presencia de trébol no resultó más atractiva para los trips que el cultivo principal. Los autores sugieren, que, por otro lado, la competencia ejercida por el cultivo acompañante puede modificar las características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas de la planta principal.

La elección, por lo tanto, del sistema más apropiado debe estar basada en un buen conocimiento de las características del agroecosistema, de la dinámica de la plaga, sus hábitos de búsqueda y localización de las plantas hospederas y de la interacción que tiene lugar entre las plantas que componen el sistema de policultivo.

b) Mezclas de cultivares de la misma especie

Aunque el uso de las mezclas de cultivares de una misma especie ha demostrado su efectividad para reducir el daño por enfermedades, el uso de este sistema en el control de plagas no ha sido muy estudiado (Altieri & Schmidt, 1987). Estos autores diseñaron un estudio en California para probar el efecto del aumento de la diversidad, a través de la mezcla de 4 cultivares de Brócoli (*Brassica oleracea botrytis* (L.), para el control del pulgón *Brevicoryne brassicae* (L.). Encontraron que la mezcla de variedades de brócoli según varios diseños espaciales y época de plantación resultó en un menor número de pulgones por parcela y por planta que el cultivo de las mismas variedades creciendo en parcelas puras. Señalan que aunque no están claras las razones de este comportamiento, los datos sugerirían que las diferencias físicas entre los cultivares habrían sido importantes. En este sentido la altura parece haber jugado un rol importante en el menor número de plagas. La dispersión de variedades de baja altura dentro de variedades altas restringió el

acceso de los pulgones a las plantas bajas. Las variedades altas parecieron ser más fácilmente localizadas por los áfidos y habrían actuado como barreras protectoras o cultivos trampas. Sin embargo, no se descarta que efectos químicos o estímulos visuales hayan también tomado parte en este comportamiento.

c) Mecanismos que explican la menor incidencia de plagas en policultivos

Varios mecanismos o hipótesis han sido propuestos para explicar la menor incidencia o presencia de plagas en policultivos que en monocultivos, (Altieri 1992 a) ellos son: *Resistencia asociacional:* Los policultivos ofrecen una estructura, ambiente químico y microclimas relativamente complejos, además de la resistencia individual. Al estar estratificada la vegetación los insectos tienen dificultad en localizar y permanecer en los pequeños sectores favorables cuando las condiciones microclimáticas son muy fraccionadas. Los insectos buscan las plantas hospedera mediante mecanismos olfatorios, al encontrarse la planta hospedera rodeada de plantas no hospederas, los aromas de estas últimas actúan enmascarando a la primera y confundiendo al insecto.

Hipótesis de los enemigos naturales: Se supone que en policultivos habrá mas enemigos naturales generalistas y especialistas que en monocultivos. Los depredadores y parasitoides tienden a ser polífagos y tienen requerimientos más amplios de hábitat, y pueden encontrar mayor variedad de presas alternativas y microhábitat en un ambiente heterogéneo como el de los policultivos. Por otro lado, los policultivos proveen de refugios que permiten la supervivencia de las presas, mientras que en los monocultivos pueden llegar a extinguirse, con lo que sus enemigos naturales también desaparecen.

Hipótesis de la concentración de recursos: Para cualquier plaga, es la fuerza total del estímulo atractivo la que determina la concentración de recursos, y esta varía con factores interactivos tales como la densidad y estructura de la planta hospedera, y con los efectos de las plantas no hospederas.

Hipótesis de la apariencia de las plantas: La efectividad de las defensas naturales es reducida por los métodos agrícolas actuales que usan monocultivos, que hacen a las plantas "más aparentes" a los herbívoros que lo que fueron las antecesoras de las cuales han derivado.

Por otra parte, den Belder *et al.*, (1999), señalan otro mecanismo no contemplado en los anteriores: el cultivo asociado causa cambios en el cultivo principal lo que afecta a su calidad como planta hospedera. Es decir, la calidad del alimento es lo que provoca la acción sobre la plaga.

Otro mecanismo es el efecto de los cultivos trampa. Es decir, cuando la presencia de un cultivo asociado ejerce una mayor atracción sobre la plaga que el cultivo principal. El cultivo asociado es preferido por la plaga que, de otra manera atacaría al cultivo principal.

Estas hipótesis son sólo algunos de los intentos por comprender las razones por las cuales las asociaciones de cultivos generalmente consiguen disminuir el daño de plagas respecto de los monocultivos. Cuál de estos mecanismos prevalecerá sobre otro, depende de un gran número de variables.

Por otro lado, existen numerosos casos en que ninguna de las hipótesis presentadas explica completamente por qué los policultivos son menos atacados que los monocultivos por las plagas.

4.1.2. Enfermedades

El uso de los policultivos o mezclas de cultivares para mejorar el comportamiento ante las enfermedades está bastante bien documentado, especialmente para el caso de los cultivos extensivos en zonas templadas, como los cereales. Prácticamente es uno de los principales motivos de estudios de su aplicación en este caso, a diferencia de lo que ocurre en sistemas tropicales. Muchos de los trabajos sobre epidemiología de mezclas de cultivares y multilíneas han sido hechos con cereales o granos finos (Browning & Frey, 1969, Mundt & Browning, 1985, Wolfe, 1985). En algunos casos, el uso de mezclas de cultivares ha provocado una reducción en las enfermedades del 97% comparado con los monocultivos (Finckh & Mundt, 1992 b). A pesar de esto, el uso de esta estrategia en países con larga tradición de cultivo de cereales, como la Argentina, es inexistente, o insignificante.

Uno de los aspectos más importantes a destacar es la diferencia que se establece entre el comportamiento de las mezclas ante un estrés abiótico y el que se produce por presencia de la enfermedad (Wolfe, 1985). Bajo un estrés abiótico, tal como una sequía o una helada tardía, la mezcla no puede controlar el estrés y sólo puede desarrollar o manifestar mecanismos compensatorios. En el caso de las enfermedades las mezclas pueden influir el progreso de la enfermedad directamente: es decir, que ellas controlan el grado del estrés o magnitud de la enfermedad de tres maneras (Wolfe, 1985):

1. Disminuyendo la densidad espacial de las plantas susceptibles.
2. Constituyendo una barrera de plantas resistentes entre las susceptibles.
3. Induciendo una resistencia por esporas no patogénicas limitando la productividad de las patogénicas en la misma área.

La diversificación para el control de las enfermedades puede alcanzarse de dos maneras: el uso de multilíneas y la mezcla de cultivares.

El concepto de multilínea fue sugerido por Jensen (1952) y consiste en una mezcla de una serie de líneas puras para introducir diversidad dentro de una variedad. Borlaug (1959) propuso obtener multilíneas de trigo retrocruzando líneas que diferían en su susceptibilidad a diferentes razas de royas, pero manteniendo la uniformidad en otras características agronómicas. Admite algunas ventajas de las mezclas pero busca como resultado un tipo uniforme en los aspectos agronómicos. La idea de la uniformidad sigue prevaleciendo.

Las mezclas de los cultivares, en cambio, están compuestas por diferentes cultivares o genotipos seleccionados por su buena capacidad combinatoria "a priori", mezclados en diferentes proporciones. No se busca necesariamente una uniformidad en los caracteres agronómicos.

Existen ciertas ventajas comparativas en el uso de las mezclas de cultivares respecto a las multilíneas aunque esta idea resultó más atractiva hace algunos años. Estas ventajas son: Facilidad de síntesis (no hay necesidad de hacer mejoramiento o retrocruzas para crear los componentes de la mezcla), una mejor facilidad para usar los nuevos cultivares a medida que ellos van apareciendo, una resistencia adicional contra la enfermedad problema a través de resistencia no específica, una reducida selección por súper razas (una raza virulenta en todos los huéspedes componentes de la mezcla), una protección contra las enfermedades no buscadas y un aumento de las posibilidades de encontrar o que se manifiesten sinergismos que favorezcan el rendimiento (Finckh & Mundt, 1992 b; Akanda & Mundt, 1996).

Cinco aspectos han sido asociados al comportamiento de una mezcla contra enfermedades:

a) Tamaño de la planta individual y su relación con el tamaño de la lesión

Lannou *et al*., (1994a) encontraron que una mezcla de trigo fue menos efectiva contra la roya amarilla *(Puccinia striiformis)* que produce grandes lesiones, que contra la roya anaranjada (*Puccinia recondita* f. sp. tritici), cuando se evaluaba al estado de plántulas. Pero esto no sucedía en plantas adultas (Lannou *et al*, 1994 b) donde la lesión es menor comparada con el tamaño de la planta. Por lo tanto, el tamaño de la lesión parece ser en sí importante en el comportamiento de una mezcla contra una enfermedad, pero también parece depender del tamaño relativo con la planta.

b) Distribución espacial de las plantas susceptibles. Arreglo espacial de los componentes de un policultivo

Esto está relacionado con el concepto de *unidad de área del genotipo (UAG)* sobre el control de la enfermedad. Esta es definida como la unidad de área ocupada por una población hospedante independiente, genéticamente homogénea. Generalmente, las mezclas de cultivares con mayor UAGs (como las sembradas en franjas alternadas) son menos efectivas en el control de enfermedades que las de áreas menores (mezclas al azar). Esto fue comprobado por Brophy & Mundt (1991) quienes encontraron que para algunas royas *(P. striiformis y P. recondita)* la efectividad fue mayor en geometrías con pequeñas UAG que grandes. El orden de efectividad de las mezclas sería: al azar, en surcos y en franjas. También Mundt *et al.* (1996) encontraron que las mezclas al azar, de cultivares de trigo resistentes y susceptibles a roya amarilla *(P. striiformis)* aumentaron el rendimiento relativo comparado con parcelas puras, pero esto no sucedió cuando los mismos componentes se sembraron en franjas alternadas.

c) Distribución espacial del inóculo en la parcela:

La distribución espacial del inóculo en el campo afecta también el comportamiento de la mezcla. La UAG no tiene efecto en la eficacia de las mezclas cuando hay una epidemia focalizada, pero por el contrario cuando la enfermedad está distribuida uniformemente un aumento del UAG reduce la eficacia de las mezclas.

Por otro lado, Mundt & Brophy (1988) sugirieron que el número de genotipos puede

tener mayor influencia que el UAG en la eficacia de la mezcla. Sin embargo, Mundt *et al.* (1996) encontraron la severidad de la roya amarilla *(P. striiformis)* en mezclas de trigo en parcelas grandes, donde el número de unidades de genotipos era mayor, fue menor que en parcelas pequeñas en sólo 1 de 3 experimentos. Estos resultados sugieren que el número de unidades de genotipos puede a veces interactuar con las UAG determinando la eficacia de la mezcla para el control de enfermedades, aunque esto puede ser afectado por factores ambientales tales como la presencia o velocidad del viento.

d) El estado fenológico de la planta a la cual la enfermedad se presenta

El momento en que ocurre la infección es muy importante para el comportamiento de una mezcla de cultivos. Si la enfermedad ocurre temprano en el ciclo del cultivo, puede esperarse un crecimiento compensatorio del componente sano, a través de un mayor macollaje para los cereales de invierno, un mayor desarrollo de ramificaciones o un mayor crecimiento de las plantas, que puede compensar el menor desarrollo del componente enfermo. Pero esto no sucede si la infección o el tipo de enfermedad ocurre tarde en el ciclo del cultivo.

Esto sugiere que la estrategia de la mezcla de cultivares puede ser más efectiva para controlar aquellas enfermedades que aparecen temprano en el ciclo del cultivo, cuando la ventaja de la mezcla sobre el cultivo puro puede maximizarse. Por otro lado no deberían esperarse grandes ventajas de estos sistemas para aquellas enfermedades tardías como las que afectan la espiga o los granos.

e) Interacción entre los componentes de una mezcla en ausencia o presencia de la enfermedad

En algunos casos las mezclas de cultivares pueden comportarse bien, aun en ausencia de la enfermedad. Pueden obtenerse diferentes resultados en función de la presencia o no de la enfermedad problema, debido a dos mecanismos que ocurren simultáneamente. Uno es la protección contra la enfermedad y el otro es la interacción entre los componentes de la mezcla. Finckh & Mundt (1992a) encontraron, en una mezcla de 5 cultivares que diferían en su susceptibilidad a *P. striiformis* que sólo el 67% de la variación en la severidad de la enfermedad podía ser atribuida a la frecuencia de los genotipos susceptibles en la mezcla. Ellos sugirieron que la competencia entre los componentes de la mezcla a veces puede alterar la susceptibilidad y oscurecer las relaciones. Por lo tanto, para entender el efecto de la enfermedad sobre las interacciones entre diferentes componentes de una mezcla, es necesario estudiar la dinámica poblacional de las mezclas en ausencia y presencia de la enfermedad (Finckh & Mundt, 1992b), y la habilidad competitiva de los distintos componentes de la mezcla (Knott & Mundt, 1990). En presencia de la enfermedad, la mayor resistencia de uno de los componentes de la mezcla puede provocar un mayor rendimiento que en un monocultivo. Pero en ausencia de la enfermedad, la relación que prevalece entre los componentes en la mezcla puede ser la competencia por recursos, y el rendimiento en grano puede ser menor que en el monocultivo.

Finalmente, las mezclas pueden desempeñarse o comportarse bien bajo otras enfermedades

diferentes a aquellas para las cuales fueron pensadas. Brophy & Mundt (1991) encontraron que mezclas de trigo diseñadas para el control de roya amarilla (*P. striiformis*) también se comportaban bien en presencia de P. recondita, y oidio (*Erysiphe graminis* DC).
Existen también algunos casos donde las mezclas rinden más que los monocultivos, aun en ausencia de enfermedades, lo que está relacionado con una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

4.1.3. Malezas

El uso de policultivos ha sido considerado también como una estrategia adecuada para el control de malezas en una agricultura sustentable (Liebman & Dyck, 1993) Esto está basado en su capacidad para explorar y utilizar más eficientemente los recursos en comparación con los monocultivos. Por lo tanto, menos recursos quedan disponibles para las malezas. Liebman & Dyck (1993) enumeraron una serie de experiencias donde la disminución en la biomasa de las malezas en los policultivos, fue mayor que la de los componentes de la mezcla cuando crecen solos. Aunque estos autores sugieren que este fenómeno es particularmente importante en aquellos sistemas en los cuales se siembran en el entresurco especies supresivas de lento crecimiento como acompañantes del cultivo principal, esta idea puede ser extensiva a una mezcla de cultivos si ellos son más competitivos por luz, agua o nutrientes que los cultivos sembrados puros. Entender la manera en que los policultivos y las malezas pueden responder a las manipulaciones del ambiente y los factores culturales puede beneficiar el desarrollo de sistemas agronómicos supresivos de malezas (Liebman & Dyck, 1993).

Amador & Gliessman (1990) mencionan sistemas de manejo de cultivos de maíz, poroto y una variedad local de calabaza *(Cucurbita spp)*, tradicionales en algunas zonas de México, donde este último cultivo parece cumplir un importante rol en el control de malezas a través de un importante sombreado y exudado de sustancias alelopáticas. A pesar de su bajo rendimiento, los agricultores insisten en la idea de cultivar la calabaza por su efecto en el control de las malezas.

Esto se discute en otro capítulo de este libro (ver capítulo Acciaresi & Sarandón).

4.2. Aprovechamiento de los recursos en sistemas de policultivos

Una de las ventajas atribuidas a los policultivos es una mayor eficiencia en el uso de los recursos (agua, luz, nutrientes) que los monocultivos. Generalmente esto es aceptado y ha sido bien documentado en mezclas de cultivos de especies diferentes, especialmente cuando uno de los componentes es una leguminosa, pero también es aplicable al resto de las posibles combinaciones.

En varias especies de cultivos, el mayor potencial de rendimiento de los cultivares modernos se ha obtenido a través de un aumento en la eficiencia en la partición de la materia seca hacia el órgano cosechable (índice de cosecha) con poca variación en la producción de biomasa aérea total (Austin *et al.*, 1980; Perry & D'Antuono, 1989; Slafer &

Andrade, 1989). Teniendo en cuenta que existe un máximo índice de cosecha compatible con un crecimiento normal del cultivo (Austin *et al*, 1980), es necesario buscar nuevas estrategias para aumentar la productividad de los sistemas sin incrementar el índice de cosecha, para lo cual deben ser exploradas nuevas estrategias de uso de los recursos. El uso de los policultivos puede ser una de ellas.

En un monocultivo, sobre todo de especies autógamas o de híbridos simples como el maíz, las plantas pueden no explorar todos los recursos disponibles en una determinada área, debido a que todos los genotipos son similares y utilizan los mismos recursos al mismo tiempo (Sarandón & Sarandón, 1995). La disponibilidad espacial o temporal de luz, agua y nutrientes puede ser explorada y utilizada diferencialmente por diferentes especies o genotipos. Trenbath (1986) sugirió la hipótesis de que en muchos ambientes agrícolas, estos factores o recursos pueden ser más completamente utilizados y convertidos en biomasa por un policultivo que por un cultivo puro.

La posibilidad de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos puede darse a través de mezclas de especies o de cultivares de una misma especie, de acuerdo a varios diseños de siembra o distribución de cultivos. La elección del sistema más apropiado dependerá de varios factores, como recursos disponibles, especies elegidas, genotipos y tipo de manejo.

4.2.1. Mezcla de especies

Para que los sistemas de policultivos sean exitosos deberá hacerse una cuidadosa selección, tanto de las especies como del diseño espacial de siembra, para posibilitar la utilización más eficiente de los recursos. El diseño más adecuado dependerá de las condiciones del cultivo y de los recursos que deban aprovecharse. Diseños que pueden ser adecuados para ciertos sistemas pueden no serlo para otros. Incluso la distancia o tipo de siembra: en franjas, surcos o totalmente al azar, son altamente dependientes de varios factores. Para ello hay que entender previamente los principios ecológicos que pueden permitir una asociación exitosa de dos cultivos.

Putnam & Allan (1992) evaluaron diferentes arreglos espaciales para comprobar el comportamiento de una mezcla de girasol (*Helianthus annus* L.) con mostaza (*Brassica hirta* Moench). Sembraron el girasol intercalado con mostaza en surcos y en franjas y los compararon con los rendimientos de los cultivos puros, durante 2 años. Las plantas de mostaza adyacentes a las de girasol en el cultivo en franjas, rindieron un 61% más que el cultivo puro y las plantas de girasol adyacentes a las de mostaza un 40% más que las de cultivo puro. Pero el rendimiento de las plantas de girasol y mostaza en el sistema de surcos intercalados fue menor que el de los cultivos puros. El valor del LER fue de hasta 1,43 en el sistema de franjas y menor a 1 en el de surcos intercalados. Según los autores, el mayor rendimiento de los cultivos en franjas se debió a sus diferentes ritmos de demanda de agua. Las plantas de mostaza utilizaron el agua más temprano en la estación que las de girasol. Esto permitió el uso complementario del recurso en las zonas adyacentes entre ambos cultivos, de acuerdo al principio de producción competitiva. Esto no

ocurrió en los surcos internos de los monocultivos ya que la competencia era intraespecífica. A su vez, las diferencias entre especies en su madurez, favoreció un uso más eficiente del N que en los cultivos puros, debido a la tendencia a ecualizar su uso.

En este caso, las diferencias morfofisiológicas entre ambos cultivos fueron suficientes para permitir un uso más eficiente de los recursos que si se hubieran cultivado en parcelas puras. Hay que tener en cuenta que el ancho de las franjas de girasol y mostaza debe ser el suficiente como para que puedan acumularse estos recursos, pero no demasiado grande como para que el efecto de la zona de interacción entre especies sea limitado. De acuerdo a este resultado, donde la ventaja comparativa estuvo en un uso más eficiente de recursos escasos como el agua y el N, no cabría esperar ventajas si este sistema se utilizara bajo riego o altas dosis de N. De esta manera, se confirma también que, en general estos sistemas funcionan bien en condiciones de recursos limitantes o en agriculturas de bajos insumos. A su vez confirman que ciertos recursos, como el agua y el N no son plenamente utilizados en un cultivo puro.

Basada en la idea de que el policultivo puede hacer un uso más eficiente de los recursos que un monocultivo, en algunos países industrializados está siendo analizado como una alternativa interesante para mejorar la eficiencia en la absorción del N del fertilizante y evitar el exceso de N lixiviado hacia los cuerpos de agua. En Canadá, Zhou *et al.*, (1997) analizaron el comportamiento de la intersiembra de maíz con ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) sobre la producción de biomasa y captura del N. El maíz se sembró a densidad normal, 70000pl.ha^{-1} y el ryegrass a razón de 28 kg.ha^{-1}. El estudio demostró que, efectivamente, el sistema de intercultivo fue más eficiente en la absorción de N del suelo que el monocultivo. La producción de biomasa y asimilación de N fue mayor en el sistema intercultivo que en monocultivo. Esto indica que el policultivo puede proveer más residuos que los cultivos puros, lo cual beneficia el reciclado de N. Sin embargo, aunque este sistema reduce el N remanente luego de la cosecha del maíz, es incapaz de capturar todo el exceso de N proveniente de altas dosis de fertilizantes.

4.2.2. Policultivos con leguminosas

Una de las formas más comunes de los policultivos y donde abundan más los ejemplos es en la asociación de cultivos con leguminosas. A pesar de esto, los estudios sobre intercultivos de cereales y leguminosas en regiones templadas son bastante escasos (Haymes & Lee, 1999). Aunque el cultivo de especies consociadas fue bastante común en regiones templadas, su uso ha declinado en los últimos 150 años con el desarrollo de los monocultivos (Francis, 1986). El uso de cultivos en asociación con otras especies, fundamentalmente leguminosas, es considerado en muchos países como un sistema adecuado para minimizar el riesgo de falla del cultivo bajo condiciones no favorables, estabilizar los rendimientos y mantener la salud del suelo a través del uso de una leguminosa como componente del policultivo (Banik, 1996).

Samui *et al.*, (1984), en India, evaluaron el efecto de la siembra de girasol con maní (*Arachis hypogaea* L.), en diferentes proporciones de surcos intercalados. Encontraron

que la materia seca, el índice de área foliar, el ritmo de crecimiento y la tasa de asimilación neta fueron mayores en el girasol intercalado y en el maní intercalado, cuando estuvieron en proporción 1:1 y 2:1 de maní y girasol respectivamente. Pero esto no sucedía cuando la proporción fue de 2 o 3 surcos de girasol por cada uno de maní, lo que sugiere, la importancia de elegir adecuadamente el diseño de siembra.

La intersiembra de leguminosas con gramíneas, también puede ser una técnica efectiva para mejorar la producción de forraje, especialmente para silo. Esto fue lo que comprobaron Martín *et al*, (1998) en un ensayo con 5 variedades de soja (*Glycine max* L.), de distinto ciclo, intersembradas con maíz en Canadá. A pesar de que la soja intercultivada con maíz rindió menos que la soja en cultivo puro, en todos los casos y para todas las variedades de soja, se obtuvieron valores de LER superiores a 1, siendo los máximos para las sojas de ciclo largo, que llegaron hasta un valor de LER para biomasa de 1,21. El valor del rendimiento de proteína fue mayor para la variedad más temprana pero alcanzó igualmente un valor de LER de 1,10 para la variedad de mejor comportamiento en biomasa. Por lo tanto, esta técnica parece ser un medio adecuado para aumentar la concentración de proteína del forraje sin sacrificar rendimiento en biomasa.

Singh *et al.* (1995) evaluaron los cambios en la densidad del maíz y la fertilización (aplicada a cada componente por separado o aplicada uniformemente) sobre el comportamiento de un policultivo de maíz con una especie de poroto *(Phaseolus mungo)*. Evaluaron el comportamiento del policultivo, utilizando el índice de rendimiento equivalente de maíz y el retorno neto. Aunque el maíz rindió un 12% menos que en el cultivo puro, el poroto rindió un 31% más y el rendimiento equivalente de maíz fue superior en el policultivo que en el monocultivo de maíz. El policultivo se comportó mejor cuando la fertilización se hizo separadamente, con un aumento en el rendimiento equivalente de maíz, del retorno económico, un mayor valor de LER, una ventaja monetaria y una relación costo-beneficio mayor que el cultivo puro.

La intersiembra de sorgo con maní es bastante común en algunas regiones agrícolas, y se han citado incrementos del rendimiento del 25 y 40 % con respecto a los cultivos puros (Willey & Osiru, 1972; Wahau & Miller, 1978, citados por Azam-Ali *et al.*, 1990). Estos últimos autores estudiaron la eficiencia de un policultivo de estas dos especies en el uso de la radiación y el agua en zonas semiáridas. El diseño fue 1 surco de sorgo y 3 de maní. Evaluaron el comportamiento del policultivo, respecto a los cultivos puros a través de la Razón de Comportamiento del Cultivo *(Crop Performance Ratio, CPR)* y encontraron una ventaja importante del policultivo respecto a lo cultivos puros (CPR=1,27). El sorgo en el policultivo mostró ventajas en materia seca total y en rendimiento respecto al cultivo puro, debido a una mayor eficiencia en la partición de la materia seca hacia el grano (índice de cosecha) que aumentó de 0,55 en cultivo puro hasta 0,64 en policultivo. El maní, por su parte redujo su producción de materia seca y su rendimiento respecto al cultivo puro. Los autores concluyen que el efecto positivo del policultivo se debió a una reducción de la competencia intraespecífica en el sorgo que permitió una mayor eficiencia en la

partición de la materia seca. Sus resultados no coinciden con los de otros autores que han trabajado con los mismos cultivos, lo que puede ser atribuido a 2 factores: la proporción en que se sembraron los componentes y el grado de sequía ocurrido durante ese cultivo. Consideran que, en general, aunque el rendimiento del sistema total es menor cuando la sequía es más severa, la ventaja comparativa del policultivo, con respecto a los cultivos puros es mayor. Esto coincide con la idea que estos funcionan mejor en condiciones subóptimas (Aufhammer *et al.*, 1989.) y explicaría por qué son comunes en muchos sistemas de productores en tierras marginales y con bajos recursos.

Korwar & Radder (1997) encontraron que el intercultivo de sorgo con Leucaena *(Leucaena leucocephala),* un arbusto usado como seto vivo para evitar el efecto de la erosión en ciertas zonas de la India, tuvo un mejor comportamiento en ausencia de fertilizante. Este sistema fue un 32% más productivo que el sorgo en cultivo puro, cuando el productor no pudo aplicar fertilizantes, pero la ventaja disminuyó con aplicaciones de 12,5 $kg.N.ha^{-1}$ y fue nula con dosis de 50 $kg.N.ha^{-1}$. A pesar de esto, el sistema ofrece otras ventajas en el mantenimiento de la humedad y conservación del suelo a largo plazo.

Otro sistema de intercultivo que ha sido probado es el de arroz (*Oryza sativa* L.) y caupí (*Vigna unguiculata* L.). Morris *et al.* (1990) estudiaron diferentes combinaciones de un cultivar de arroz con caupí. En 6 experimentos evaluaron proporciones, cultivares de caupí, tipos y dosis de fertilizantes y densidades de siembra de ambos cultivos. El tipo de cultivar de caupí fue muy importante en el comportamiento del policultivo. Los cultivares de ciclo corto, crecimiento determinado y hábito no trepador, fueron los más adecuados para su uso en policultivo con el tipo de arroz elegido. La proporción en que estos dos cultivos fueron sembrados también resultó importante. La densidad resultó ser un factor importante; cuando la densidad de arroz superó los 110 $Kg.ha^{-1}$ se observaron pequeños aumentos en su rendimiento pero mermas importantes en el cultivo de caupí. Los datos confirman que las densidades óptimas para el policultivo no son las mismas que para monocultivo.

El uso de sistemas de policultivos o cultivos múltiples en zonas templadas, en grandes extensiones, requiere un rediseño de los sistemas que se adapten a las modalidades de cultivo predominantes. El advenimiento de los sistemas de labranza conservacionistas con menor remoción de suelo o con franjas permanentemente cubiertas, ha renovado el interés en evaluar los sistemas de strip-intercropping, o franjas intercaladas, de soja y maíz.

Dos estudios han encarado este tema, con resultados similares. West & Griffith (1992) probaron franjas de 8 surcos de maíz y 8 de soja contra la producción de los cultivos puros. Lesoing & Francis (1999) probaron el mismo sistema pero en condiciones de secano y riego. Ambos encontraron que en las franjas de maíz, las hileras que estaban adyacentes a las de soja rendían más (hasta un 25% más) comparadas con los maíces en monocultivo, pero que la soja adyacente al maíz, disminuía su rendimiento en forma más o menos proporcional (West & Griffith, 1992). Lesoing & Francis (1999) no encontraron ventaja alguna en la producción de este sistema comparado con los monocultivos puros, aunque el comportamiento de los cultivos mejoraba bajo condiciones de riego.

Debido al precio diferencial del maíz y la soja, este sistema podría ser económicamente rentable y competitivo en comparación con los sistemas convencionales. Según estos últimos autores el sistema podría ser mejorado si las franjas de maíz se aumentaran y redujeran las de soja, aunque esto dependerá del precio relativo de ambos cultivos.

Haymes & Lee (1999) estudiaron la intersiembra de 3 cultivares de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) con haba *(Vicia faba)* en varias densidades y patrones de siembra durante 2 años. El espaciamiento fue de 17cm en cultivo puro y 34 cm en intercultivo. Se compararon cultivares de invierno y de primavera de ambos cultivos. Los resultados indicaron claramente que la intersiembra o el intercultivo de trigo con haba puede dar mayores rendimientos que el monocultivo. Los valores de LER fueron, en general, mayores a 1 indicando una mejor utilización de los recursos en los policultivos. Cuando se sembraron cultivares de trigo de invierno se observó una gran reducción del rendimiento del trigo (el trigo rindió entre 9 y 30% del rendimiento en monocultivo) en el policultivo, comparado con el haba. Sin embargo, en algunos casos, el policultivo rindió un 40% más que los monocultivos. En los cultivares de trigo de primavera la reducción del rendimiento fue mucho menor (rindieron entre un 70 a 87% del rendimiento en cultivo puro). Por otra parte, encontraron que los cultivares altos fueron más exitosos en policultivo que los de menor altura. Según los autores, al tener una altura similar al cultivo de haba permitieron una mejor intercepción de la luz. Los cultivares modernos de trigo, aunque no mostraron un buen comportamiento en este ensayo podrían tener un buen potencial para su uso en policultivo con haba si se lograran variedades modernas de este cultivo (haba), de menor altura. Los datos de este experimento mostraron que el cultivo de trigo puro interceptó menos luz que el policultivo con haba.

Reynolds *et al*., (1994) examinaron el beneficio de sembrar trigo con 5 especies de leguminosas en bajos niveles de suministro de N durante 4 años en condiciones de secano. Ninguna de las leguminosas probadas disminuyó el rendimiento de los cereales en comparación con el testigo, mientras que, en algunos casos la producción de biomasa de las leguminosas fue más del doble, dando como resultado un valor de LER de 1,54. El principio de este resultado es que cuando el cultivo crece en condiciones de baja disponibilidad de N la luz no es un factor limitante y puede ser usado por un cultivo fijador de N acompañante sin disminuir el desarrollo del cultivo principal.

Más allá del efecto que tiene el uso de leguminosas en el cultivo acompañante en el mismo ciclo, el mejor desempeño de los policultivos con leguminosas ha sido atribuido al efecto de estas sobre la mayor disponibilidad de N para el cultivo subsiguiente (Singh, 1983, Danso & Papastylianou, 1992). En un estudio sobre la intersiembra de trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L) con trigo, Brandt *et al.* (1989) encontraron que el trébol disminuyó el rendimiento del trigo en el primer año pero lo incrementó en el segundo debido a la liberación de N fijado en el año previo. Sin embargo, el beneficio de la intersiembra de un cereal con una leguminosa puede observarse en el mismo año debido al movimiento lateral del N fijado hacia el cereal (Willey & Reddy, 1981), posiblemente por la conexión a través de micorrizas, tal como fue encontrado para un intercultivo maíz - soja por van Kessel *et al.* (1985).

4.2.3. Mezclas de cultivares: una alternativa interesante para sistemas extensivos mecanizados.

Las mezclas de cultivares han sido consideradas como una manera potencial de incrementar el rendimiento de los cultivos desde hace tiempo (Harper, 1964).Pero, en general, los estudios sobre las mezclas de genotipo de la misma especie han sido enfocados hacia la habilidad competitiva de los componentes de la mezcla o en el comportamiento de la mezcla contra adversidades (Sarandón & Sarandón, 1995). Pero poco se ha señalado sobre la capacidad de las mezclas de cultivares para incrementar la productividad. Estudios en maní *(Arachis hypogea)* (Rattunde *et al.*, 1988) y cebada *(Hordeum vulgare)* (Stützel & Aufhammer, 1990) han evaluado las mezclas como una manera de explotar o aprovechar las diferencias morfofisiológicas existentes entre cultivares para incrementar la productividad, con resultados disímiles.

Smithson & Lenné, (1997) resumieron datos de más de 100 estudios de mezclas con diferentes cultivos y los resultados de la comparación de los rendimientos de las mezclas de cultivares con el rendimiento de los cultivos puros. Encontraron que los rendimientos de las mezclas excedieron el de sus componentes por una pequeña pero significativa cantidad, y que la ventaja de las mezclas tendía a ser mayor que las desventajas. A su vez, la mezcla de cultivares de una misma especie es una alternativa apropiada para un tipo de agricultura extensiva, en grandes superficies y mecanizada.

Si las diferencias entre los componentes de una mezcla pueden ser suficientes para conferirle una diferente habilidad para usar los recursos presentes en un sistema, (de Wit, 1960; Trenbath, 1974), entonces, la cantidad total de los recursos utilizados por el policultivo puede ser mayor que la de los mismos componentes creciendo en parcelas puras. Esto podría llevar a una mayor producción de biomasa en la mezcla y, eventualmente, una mayor calidad de grano, tal como encontraron en trigo Sarandón & Sarandón (1995).

Cuando los componentes de la mezcla son agronómicamente idénticos, como sucede en las multilíneas, puede esperarse que ellos compitan fuertemente por los mismos recursos y que la mezcla no rinda más que el cultivar más productivo (Simmonds, 1962). Esto explica por qué las multilíneas no rinden más que los cultivos puros en ausencia de la enfermedad para la cual fueron desarrolladas, como hemos visto antes.

Uso de los recursos por mezclas de cultivares

a) Agua y Nutrientes

Los recursos del suelo (nutrientes, agua) pueden ser importantes factores para el comportamiento de la mezcla (Trenbath, 1974). Las diferencias existentes en los patrones de distribución radicales dentro del suelo entre cultivares de trigo (Lupton *et al.*, 1974), pueden estar relacionados con las diferencias en el índice de cosecha (Siddique *et al.*, 1990). La diferente capacidad de exploración radicular de los genotipos en mezcla, puede determinar que el sistema que se desarrolle más tarde ocupe capas más profundas

del suelo en las mezclas que en monocultivo (Berendse, 1979). En este caso, el valor del LER puede ser mayor a 1, debido a que los recursos disponibles para la mezcla se han incrementando, de acuerdo con el principio de producción competitiva de Vandermeer (1989). Sarandón & Sarandón (1995) observaron un mejor comportamiento de mezclas de cultivares de trigo en las parcelas no fertilizadas, sugiriendo que las mezclas hacían una mejor utilización del N, cuando este se constituía en un factor limitante. Este efecto de la disponibilidad de N en las mezclas también fue citado por Aufhammer *et al.*, (1989) quienes sugirieron que, cuando uno de los componentes está en condiciones "subóptimas", las diferencias ontogenéticas entre los componentes resultaron en un efecto positivo de la mezcla sobre el rendimiento, debido a que los componentes del rendimiento del acompañante aumentaron en forma más que proporcional.

Recientemente (Barreyro *et al.*, 1999) evaluaron el rendimiento de una mezcla de 2 híbridos de girasol bajo dos niveles de fertilidad nitrogenada, y dos espaciamientos, sembradas en relación 1:1 en hileras alternadas. El comportamiento de las mezclas varió entre los arreglos de siembra. A 50 x 38cm la mezcla produjo más biomasa y rendimiento que los cultivos puros, mientras que a 70 x 25cm no hubo diferencias. El LER alcanzó valores de hasta 1,22 para biomasa y 1,19 para rendimiento. Si bien la mayor biomasa y rendimiento en las mezclas se logró con una mayor área foliar y una mayor cobertura, el LER sólo se correlacionó con el índice de área foliar (IAF) en R5. No se registraron respuestas significativas a la fertilización con nitrógeno en tratamientos puros o en mezcla. El comportamiento de los híbridos fue diferente, indicando la importancia de la elección correcta de los componentes.

b) Luz

La luz es otro de los factores importantes en el desempeño de las asociaciones de cultivos. En ausencia de déficit de agua y nutrientes, la competencia por luz puede ser el principal factor en la productividad de una mezcla. Aunque los modelos de simulación con mezclas de cultivares con diferente inclinación de sus hojas han mostrado sólo pequeños aumentos en la fotosíntesis bruta (Trenbath, 1972, in Trenbath, 1974), se han hecho algunas experiencias para explotar las diferencias morfofisiológicas entre genotipos de trigo a fin de aumentar la eficiencia fotosintética. Prasad & Reddy (1973) utilizaron la variabilidad de altura entre genotipos de trigo para crear diferentes arquitecturas de cultivo con el objeto de optimizar la eficiencia en la utilización de la luz. Sharma & Prasad (1978) encontraron que 3 genotipos de trigo que diferían en altura, cultivados en diferentes arreglos espaciales, rindieron más que los monocultivos, lo que atribuyeron a una mejor utilización de la luz.

Prasad & Sharma (1980) condujeron un experimento comparando el potencial de rendimiento de las mezclas y los cultivos puros de 3 cultivares de trigo que variaban en su altura (60, 80 y 120 cm.) sembrados en diferentes arreglos espaciales. Se evaluaron en total 5 arquitecturas y 2 espaciamientos de surcos (15 y 22,5 cm). Las estructuras fueron denominadas como piramidal y columnar. Bajo altas dosis de fertilizante nitrogenado la estructura columnar rindió aún más que los cultivares más productivos, sugiriendo que

hubo una mejor utilización del N en los arreglos columnares. En uno de los 2 años el espaciamiento menor (15 cm) resultó en un mayor rendimiento que el mayor (22 cm) mostrando una interacción importante año x espaciamiento. El rendimiento en paja de los 3 cultivares fue también mayor en mezclas que en monocultivos, pero esto fue más evidente en los cultivares altos (Sharma & Prasad, 1978; Prasad & Sharma, 1980), sugiriendo que, en este diseño espacial, los cultivares altos toman ventaja de esta característica en la competencia por luz.

A pesar de la importancia de este tipo de experimentos sobre diseños espaciales que podrían optimizar el uso de la luz o el nitrógeno, muchos de estos diseños no son apropiados para su uso por parte de los agricultores debido a las dificultades de su siembra y cosecha por la diferente altura de sus componentes. También pueden existir dificultades para sembrar esos diseños en agricultura mecanizadas como la de los sistemas extensivos de zonas templadas.

Aunque la mezcla de cultivares puede producir una mayor biomasa que los monocultivos, esto puede no estar relacionado con un mayor rendimiento, ya que, dentro de una mezcla la interacción entre sus componentes puede afectar la partición de la materia seca. Esto fue confirmado en una mezcla de dos cultivares de trigo (Sarandón & Sarandón, 1995), donde, en una de las proporciones, se encontró que una mayor proporción de los recursos fueron particionados hacia estructuras competitivas (tallos y hojas), en lugar del grano. Sin embargo, también se ha citado el caso contrario. Azam-Ali *et al.* (1990) encontraron, en sorgo intercultivado con maní, que el primer cultivo tuvo una mayor eficiencia en la partición de la materia seca hacia el grano (índice de cosecha) en policultivo que en cultivo puro.

Un aspecto práctico que hay que tener en cuenta en las mezclas de variedades, es su persistencia en el tiempo. Las interacciones entre los componentes de una mezcla o policultivo causa drásticos cambios en la composición de las mezclas distorsionando el rendimiento de los componentes respecto a lo que sucede en cultivos puros. Es decir, la proporción sembrada no es generalmente la que se cosecha. Esto ha sido demostrado en cebada (Harlan & Martini, 1938), arroz (Jenning & De Jesús, 1968), lolium (Hill & Shimamoto, 1973) y trigo (Mc Kenzie & Grant, 1980, Shaalan *et al.*, 1966), e implica que las mezclas deberán ser reconstituidas por los agricultores todos los años para que mantengan las correctas proporciones entre los componentes que le brindan sus propiedades exitosas.

La mezcla de cultivares que hagan un uso más eficiente de los recursos (mayor biomasa) pueden ser también una forma de mejorar la calidad de la producción sin disminuir la productividad. Para trigo se ha demostrado que esta tecnología puede ser eficiente para aumentar la proteína del grano, debido a una más favorable relación fuente-destino (Sarandón & Sarandón, 1995).

5. Seleccionando genotipos adecuados para su uso en policultivos o mezcla de cultivares

Del análisis del desempeño de los policultivos en la literatura, está claro que su éxito depende de la disponibilidad de genotipos apropiados. Uno de los mayores desafíos en el diseño de mezclas o combinaciones de cultivos que se desempeñen bien en el campo de los productores es elegir los componentes apropiados. Pero esto no es sencillo debido a que los agrónomos generalmente han enfocado sus esfuerzos en el desarrollo de los componentes, pero no en el sistema en sí mismo. En este sentido, Zimmermann (1996) menciona el caso del cultivo de poroto, donde los fitomejoradores trabajan generalmente para condiciones de monocultivo, a pesar de que el 60% de la producción de poroto en Latinoamérica se hace en sistema de policultivo.

Es decir, los ejemplos exitosos de combinación de cultivos o mezclas de cultivares hallados en la literatura han tenido como materia prima genotipos no siempre seleccionados por su habilidad para crecimiento en intercultivos. Esto destaca todo el potencial que estos sistemas podrían tener si se buscara mejorar y seleccionar materiales, ya no por sus características individuales, sino por su capacidad de mostrar un buen comportamiento cuando crecen en policultivos. Esto sería semejante al proceso de creación de un híbrido simple de maíz, donde la elección de las líneas que en el futuro lo han de conformar, no se basan en su comportamiento *per se*, sino en su habilidad combinatoria. Esto es lo que se requiere en el desarrollo de materiales aptos para su uso en asociaciones de cultivos.

Zimmerman (1996) analiza, en una excelente revisión bibliográfica, algunos de los interrogantes que se plantean respecto a las estrategias a seguir para el mejoramiento de cultivares de poroto *(Phaseolus vulgaris)* para su uso en policultivos, que pueden aplicarse a varios cultivos. Los interrogantes son: 1) ¿Los materiales desarrollados para monocultivo se comportan bien en policultivos?, 2) ¿Cuánto debe diferir un genotipo apto para el cultivo consociado, de los genotipos aptos para monocultivo. 3) ¿Es necesario desarrollar programas especiales de mejoramiento para policultivos? y 4) En caso afirmativo, ¿Cómo debe un programa de mejoramiento abordar la cuestión de los policultivos?

Este autor concluye que, al menos para poroto, los cultivares que son mejorados para su uso en monocultivo pueden, a veces, comportarse bien en policultivo pero esto no es necesariamente cierto. Algunas características, como el comportamiento ante enfermedades son importantes y ventajosas en ambos sistemas, pero otras características morfofisiológicas pueden ser específicas. A su vez, los componentes que contribuyen al rendimiento total, pueden ser diferentes en cada sistema. Como ejemplo, en poroto el peso del grano fue importante como componente del rendimiento en policultivo, pero en monocultivo lo fue el número de vainas por planta. Por otra parte, el análisis de trabajos de otros autores, sugiere que los recursos en un policultivo no son totalmente explotados por los cultivares que se usan en la actualidad, lo que indica que se puede, a través del mejoramiento genético, aumentar la eficiencia del sistema.

Knott & Mundt (1990) propusieron que la habilidad combinatoria de componentes de una mezcla podría ser calculada de los datos derivados de experimentos con mezclas de cultivos en proporción 1:1 en todas las posibles combinaciones tomadas de a pares. De esta forma, podrían evaluarse la capacidad combinatoria general para mezclas (CCG) y la capacidad combinatoria específica para mezclas (CCE). En un experimento con mezclas de 5 cultivares de trigo, tomados de dos en dos, Knott & Mundt (1990) encontraron que la elección de cultivares basados en los valores de CCG y CCE reveló combinaciones de cultivares que fueron estadísticamente mejores que los otros para su uso en mezclas.

A pesar de algunos resultados exitosos, esta metodología presenta la dificultad de tener que probar todas las posibles combinaciones de genotipos o especies creciendo en mezclas para elegir el mejor. Con sólo 10 cultivares habría que hacer por lo menos 45 parcelas para probar sólo una proporción (1:1) de estas mezclas. Los agrónomos deberían ser capaces de seleccionar cultivares (cuando crecen en condiciones de cultivo puro) que tengan un buen potencial para su combinación en mezclas.

Rezende & Ramalho (1994) destacan que el éxito del intercultivo de 2 o más especies depende de la complementariedad entre ellas. Analizan el sistema poroto *(P. vulgaris)* y maíz, muy común en Brasil. En este sistema el componente más competitivo es el maíz y el éxito del sistema asociado depende de la habilidad del poroto para soportar el intercultivo. Estos autores analizaron 16 cultivares de poroto de diferentes ciclos y hábitos de crecimiento en asociación con 4 cultivares de maíz, para evaluar la habilidad competitiva. Al mismo tiempo, valoran el rendimiento equivalente de maíz (Ramalho *et al.*, 1983) por ser cultivos de distinto precio. Encontraron que los diferentes cultivares de poroto y maíz tenían diferente habilidad complementaria (equivalente a la capacidad combinatoria, CCG y CCE, de Knott & Mundt, 1990) en policultivo. No encontraron variación para el efecto específico de policultivo, indicando que el comportamiento de las diferentes combinaciones de policultivos puede ser explicada sólo por la habilidad complementaria general (equivalente a la CCG) de cada cultivar. No hubo un efecto importante de la habilidad complementaria específica (equivalente a la CCE). Coinciden con la idea de que, mientras mayor sea la diferencia de ciclo entre los componentes del policultivo, menor será la competencia y mayor la eficiencia del sistema, encontrando que para el poroto, que es el componente menos competitivo del sistema, el principal determinante de su comportamiento en asociación con el maíz es su rendimiento en monocultivo. Finalmente, señalan la necesidad de conducir programas específicos de mejoramiento para intercultivo sobre todo para especies como el poroto. Para el maíz, por ser el componente dominante, esto no sería necesario.

Holland & Brummer (1999) analizaron también todas las combinaciones dialélicas (todos con todos) entre 8 cultivares de *Avena sativa* L y 7 cultivares de *Trifolium alexandrinum* L. valorando la importancia relativa de la habilidad combinatoria ecológica general y la específica. Coinciden con Rezende & Ramalho (1994) en que esta depende de la especie en cuestión. Para la avena, la especie más competitiva del sistema, la evaluación de su comportamiento en monocultivo es adecuada para predecir su comportamiento en policultivo.

Pero para el trébol, la evaluación en monocultivo no es un buen indicador de su comportamiento en policultivo. Por lo tanto, concluyen que, la selección y evaluación de cultivares para su uso en policultivo debe ser hecha con el cultivo acompañante. Debido a que en este trabajo no encontraron efectos importantes de la capacidad combinatoria específica (CCE), consideran que puede evaluarse a través de la habilidad combinatoria general (CCG) usando los cultivares de una especie combinados con algunos probadores seleccionados de la otra. En este sentido, los probadores deberían representar fenotipos extremos.

Debido a las dificultades prácticas de probar todas las posibles combinaciones de cultivos para elegir los mejores genotipos, se ha puesto considerable atención para predecir la aptitud para el uso en policultivos, de los componentes cuando crecen en diferentes ambientes como cultivo puros (Willey & Rao, 1981). Al respecto, se han propuesto una serie de pasos a seguir para seleccionar genotipos exitosos para su uso en policultivos (Wien & Smithson, 1981, modificado):

- Definir las condiciones del sistema de policultivo para el cual deben seleccionarse los genotipos (factores climáticos, bióticos, económicos, culturales).
- Manipular la fecha de siembra, el arreglo espacial y el nivel de nutrientes.
- Hacer una selección bajo condiciones definidas de policultivo para un gran número de cultivares creciendo en monocultivo para identificar caracteres de importancia en la adaptación al policultivo.
- Determinar el grado en el cual las mismas características se expresan en condiciones de monocultivo de manera que permitan la selección en monocultivos para su uso en policultivos.
- Hacer una selección preliminar (en condiciones de monocultivo) para descartar aquellos materiales que no tengan adaptación para el policultivo.
- Hacer una selección de genotipos por su adaptación a los sistemas de policultivos.

Hill, (1996) aborda el problema del mejoramiento para componentes de mezclas y señala que, aunque está claro que el mejoramiento para resistencia a enfermedades o sequías, requiere el análisis y evaluación de los materiales bajo estas condiciones, en general esto no es tan común en el mejoramiento de componentes de mezclas. Este debería hacerse en la presencia del otro componente ya que el comportamiento en monocultivos no es una guía confiable del comportamiento que tendrán en mezclas. Incluso, la habilidad competitiva y el rendimiento pueden estar inversamente correlacionados, tal como sugieren los resultados obtenidos por Jennings & Aquino (1968) y Jennings & De Jesús (1968) en arroz.

Hill (1996) propone una metodología para el mejoramiento de componentes de mezclas que tiene como base la idea de la obtención de líneas endocriadas de maíz para el desarrollo de híbridos. Esto puede resumirse en dos estrategias: una denominada pasiva y la otra activa. La denominada pasiva es la más sencilla y requiere menos trabajo. Está basada en la idea de evaluar todas las combinaciones de los genotipos con probadores o "testers". Estos tienen que tener ciertas características como la de no ser muy competitivos, para no enmas-

carar los genotipos bajo estudio, pero tampoco deben ser tan débiles que no ofrezcan un mínimo de estrés competitivo. Los materiales seleccionados de esta manera, pueden cruzarse entre sí y repetir el ciclo tantas veces sea necesario. Luego se multiplican los mejores.

El diseño activo es más dificultoso ya que implica que los roles de probador y material probado se invierten cíclicamente. En el primer ciclo de selección, los materiales del componente A, son seleccionados por su buena aptitud combinatoria con B que actúa como probador. Los materiales seleccionados de A se cruzan entre sí y el material resultante se usa como probador de los materiales del componente B. Se seleccionan los mejores materiales del componente B de acuerdo a su combinación con el probador A y se entrecruzan entre sí. Y se repiten este ciclo las veces que sea necesario. Según Hill (1996) el primer sistema es apropiado para mezclas de especies y el segundo más apropiado para mezclas de genotipo o cultivares de una misma especie. Estos métodos ahorran muchas combinaciones innecesarias y serían muy valiosos en la selección de materiales con buena capacidad de funcionar bien en mezclas.

De todas maneras, en etapas avanzadas de la selección, cuando el número de participantes es menor, conviene hacer cruzamientos dialélicos (todos con todos) para comprobar la aptitud buscada.

6. Futuras necesidades de investigación

Se han presentado en este capítulo algunas cuestiones que muestran el beneficio del uso de policultivos sobre los cultivos puros y las condiciones donde debe esperarse que este efecto se exprese con mayor claridad. Sin embargo, aun quedan muchos aspectos que deben investigarse en el futuro.

Los policultivos pertenecen a una de esas áreas donde el uso de ciertas técnicas ha sido anterior a la investigación científica, lo que resalta que, muchas veces, los investigadores son ajenos a las necesidades de sus agricultores.

Queda aún mucho camino por recorrer en la generalización de este sistema de cultivo, ya que algunas ventajas están asociadas a algunas desventajas o limitaciones importantes (Tabla 1, página 217).

Algunas áreas de interés podrían ser (Sarandón, 1999)

a) Mejorar y/o desarrollar metodologías e indicadores que permitan identificar, observando el comportamiento en condiciones de monocultivo, aquellas características que confieren a los cultivos una buena capacidad combinatoria para su uso en policultivos.

b) Desarrollar métodos de mejoramiento que permitan seleccionar genotipos más eficaces para su uso en policultivos, incluso en filiales tempranas.

c) Mejorar nuestra comprensión sobre las condiciones bajo las cuales debe ser probado el potencial de los cultivares para su uso en policultivos

d) Identificar las condiciones bajo las cuales se espera un mejor comportamiento de los policultivos y aquellas donde el efecto esperado sería mínimo comparado con una siembra en monocultivo.

Tabla 1

Algunas ventajas y limitaciones que pueden presentar los sistemas de policultivos (Sarandón, 1999, modificado)

Ventajas
• Mayor biodiversidad.
• Mayor estabilidad en el tiempo.
• Menor riesgo económico.
• Mejor comportamiento contra el clima, plagas, enfermedades y malezas.
• Mejor oferta nutricional.
• Mejor distribución de la labor en el tiempo.
• Mejor uso de los recursos (agua, luz, nutrientes).
Limitaciones
• El predominio, en muchos científicos y agrónomos, de la uniformidad como un ideal de los sistemas de cultivos.
• Requiere una mejor comprensión de las interacciones entre plantas.
• Dificultad para generalizar el comportamiento del policultivo o asociación. Tendencia a ser sitio-específicos.
• Pueden presentar problemas (en algunos casos) para la cosecha mecánica.
• Pueden requerir una labor más intensiva.
• Pueden presentar problemas de comercialización y con estándares de calidad.
• Requieren una metodología de evaluación más compleja que los monocultivos.
• El mejoramiento y la metodología de selección de genotipos con buena habilidad combinatoria es más difícil y no está completamente entendida.

7. Conclusiones

En este capítulo se han discutido las posibilidades y limitaciones del uso de los policultivos como una alternativa ecológica para una agricultura sustentable.

El aumento en la diversidad de cultivos tiene múltiples consecuencias positivas para los agroecosistemas tales como una menor fragilidad ecológica, o una menor dependencia de insumos o una mayor estabilidad de los sistemas. Además, puede ser una interesante alternativa para la conservación *in situ* de la biodiversidad (Sarandón, 2000).

Sin embargo, el manejo exitoso de estos sistemas depende de numerosos factores como genotipos, especies, ciclos de los cultivos, distancias, arquitectura vegetal y patrones de siembra (franjas, surcos, al azar), densidades, recursos limitantes, grado de mecanización y nivel de insumos utilizados (riego, fertilizantes etc.).

El diseño y manejo de policultivos no es una tecnología sencilla ni responde a una serie de recetas. Por lo tanto, es fundamental hacer esfuerzos para una mejor comprensión de los principios ecológicos que explican el funcionamiento de estos sistemas en relación con plagas, enfermedades y malezas o en el uso de recursos. Por otro lado, es importante conocer la posibilidad de generalizar los resultados o evaluar la especificidad de los mismos. La posibilidad de generalización de resultados es importante, sobre todo para las empresas que pueden desarrollar genotipos adecuados para su uso en policultivos. Sin embargo, el desarrollo de estos sistemas también puede estar basado en el conocimiento que los agrónomos y productores tengan sobre la potencialidad y capacidad combinatoria de los materiales de uso local. Si se quiere alcanzar una agricultura sustentable, el análisis de estos sistemas debe hacerse desde un punto de vista holístico y sistémico, y pensando en el largo plazo.

Finalmente, un análisis de las perspectivas que presenta esta alternativa debe tener en cuenta que, por muchos años, la investigación y el desarrollo agrícola ha estado enfocado en seleccionar genotipos que funcionan bien bajo condiciones de monocultivo y, muchas veces, sin limitaciones de recursos. No se han hecho esfuerzos importantes en seleccionar genotipos que tengan un buen comportamiento en mezclas, bajo condiciones de bajos insumos. La existencia en la literatura de varios casos exitosos en este sentido, sugiere, sin embargo, la potencialidad del uso de policultivos como una estrategia adecuada para el desarrollo de agroecosistemas sustentables.

Akanda SI & CC Mundt (1996) Effects of two-component wheat cultivar mixtures on stripe rust severity. Phytopathology 86 (4): 347-353.

Altieri M & L Schmidt (1987) Mixing broccoli cultivars reduces cabbage aphid number. California Agriculture, November-December: 24-26.

Altieri MA (1992a) Diversidad vegetal y estabilidad en sistemas de cultivos múltiples. En: Altieri MA (Ed.) Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas, pp. 41-53, CETAL Ediciones, Valparaíso, Chile, 1992.

Altieri M (1992b) El rol ecológico de la biodiversidad en agroecosistemas. Agroecología y desarrollo 4:2-11.

Amador MF & SR Gliessman (1990) An ecological approach to reducing external inputs through the use of intercropping. Agroecology 78: 146-159.

Arnon Y (1972) Crop production in dry region. Leonard Hill, London.

Aufhammer W, H Kempf, E Kübler & H Stützel (1989) Effekte der Sorten- (Weizen) und der Arten-(Weizen, Roggen) Mischung auf die Ertragsleistung krankheitsfreier Bestände. Journal of Agronomy and Crop Science 163: 319-329.

Austin RB, J Bingham, RD Blackwell, LT Evans, MA Ford, CL Morgan & M Taylor (1980) Genetic improvements in winter wheat since 1900 and associated physiological changes. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 94:675-689.

Azam-Ali SN, RB Matthews, JH Williams & JM Peacoc (1990) Light use, water uptake and performance of individual components of sorghum/groundnut intercrop. Expl Agric 26:413-427.

Banik P (1996) Evaluation of wheat (*Triticum aestivum*) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series system. Journal of Agronomy and Crop Science 176: 289-294.

Barreyro RA, G Sánchez Vallduví, A Chamorro, N Tamagno & SJ Sarandón (2000) Rendimiento, índice de área foliar y cobertura del suelo de una mezcla de híbridos de girasol. XXIII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. Universidad Nacional de Río Cuarto. Del 29 de noviembre al 1 de diciembre de 2000. Actas, Pág. 76-77. Río Cuarto, Córdoba. Argentina.

Bhatnagar VS & JC Davies (1981) Management in intercrop subsistence farming. In: ICRISAT (International Crop Institute for semiarid Tropics). Proceedings of the International Workshop on Intercropping, Hyderab, India, 1979: 249-257.

Bender DA, WP Morrison & RE Frisbie (1999) Intercropping cabbage and Indian mustard for potential control of lepidopterous and other insects. Hortsience 34 (2): 275-279.

Berendse F (1979) Competition between plant populations with different rooting depths. I. Theoretical considerations. Oecologia (Berlin), 43:19-26.

Borlaug NE (1959) The use of multilineal or composite varieties to control airborne epidemic diseases of self-pollinated crop plants. Proceedings First International Wheat Genetics Symposium, 12-26.

Brandt JE, FH Hons & VA Haby (1989) Effects of subterranean clover interseeding on grain yield, yield components and nitrogen content of soft red winter wheat. Journal of Production Agriculture 2:347-351.

Brophy LS & CC Mundt (1991) Influence of spatial patterns on disease dynamics, plant competition and grain yield in genetically diverse wheat populations. Agriculture Ecosystems and Environments 35:1-12.

Browning JA & KJ Frey (1969) Multiline cultivars as a means of disease control. Annual Review of Phytopathology 7: 355-82.

Capinera JL, TJ Weissling & EE Schweizer (1985) Compatibility of intercropping with mechanized agriculture: Effects of strip intercropping of pinto beans and sweet corn on insect abundance in Colorado. Journal of Economic Entomology 78:354-357.

Danso SKA. & Y Papastylianou (1992) Evaluation of the nitrogen contribution of legumes to subsequent cereals. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 199:13-18.

de Wit CT (1960) On competition. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekinge 66 (8):1- 82.

den Belder E, RI Valcheva & JA Guldeond (1999) Increased damage by western flower thrips *Frankliniella occidentales* in chrysanthemum intercropped with subterranean clover. Entomologia Experimentalis et Applicata 91:275-285.

Finckh MR & CC Mundt (1992 a) Plant competition and disease in genetically diverse wheat populations. Oecologica 91: 82-92.

Finckh MR & CC Mundt (1992b) Stripe rust, yield and plant competition in wheat cultivar mixtures. Phytopathology 82:905-913.

FNUAP (Fondo de Población de las Naciones Unidas) (1991) La población y el medio ambiente: los problemas que se avecinan. 44 pp.

Francis ChA (1986) Distribution and importance of multiple cropping. In: Multiple cropping systems. Ch A Francis (Ed.). Macmillan Publishing Company, New York: 1-19.

García MA & MA Altieri (1992) Explaining differences in flees beetle *Phyllotreta cruciferae* Goeze densities in simple and mixed broccoli cropping systems as a function of individual behaviour. Entomologia Experimentalis et Applicata 62:201-209.

González-Zamora JE, A Ribes, A Meseguer & F García-Mari (1994) Thrips control in strawberries: use of broad bean plants as a refuge for populations of anthocorids. Boletín de Sanidad Vegetal 20:57-72.

Gutierrez V, M Infante & A Pinchinot (1975) Situación del cultivo de frijol en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Harlan HS & ML Martini (1938) The effect of natural selection in a mixture of barley varieties. Journal of Agricultural Research 57: 189-199.

Harper JL (1964) The nature and consequence of interference amongst plants. In: Genetics today. Proceedings of the XI International Congress of Genetics (1964) 2:465-482. Pergamon Press, N.Y.

Haymes R & HC Lee (1999) Competition between autumn and spring planted grain intercrops of wheat (*Triticum aestivum* L.) and field bean (*Vicia faba*). Field Crops Research 62:167-176.

Hector A, B Schmid, C Beierkuhnlein, MC Caldeira, M Diemer, PG Dimitrakopoulos, JA Finn, H Freitas, PS Giller, J Good, R Harris, P Högberg, K Huss-Danell, J Joshi, A Jumpponen, C Körner, PW Leadley, M Loreau, A Minns, CPH Mulder, G O'Donovan, SJ Otway, JS Pereira, A Prinz, DJ Read, M Scherer-Lorenzen, ED Schulze, ASD Siamantziouras, EM Spehn, AC Terry, AY Troumbis, FI Woodward, S Yachi & JH Lawton (1999) Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. Science (286):1123-1127.

Hill J (1996) Breeding components for mixture performance. Euphytica 92:135-138.

Hill J & Y Shimamoto (1973) Methods of analyzing competition with special reference to herbage plants. I. Establishment. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 81: 77-89.

Holland JB & EC Brummer (1999) Cultivar effects on oat-berseen clover intercrops. Agronomy Journal 91:321-329.

Hook JE & GJ Gascho (1988) Multiple cropping for efficient use of water and nitrogen. In: W.L. Hargrove (Editor). Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA special publication N° 51: 7-20.

Jennings PR & RC Aquino (1968) Studies on competition in rice. III. The mechanism of competition among phenotypes. Evolution 22: 529-542.

Jennings PR & J de Jesus (1968) Studies on competition in rice. I. Competition in mixture of varieties. Evolution 22: 119- 124.

Jensen NF (1952) Intravarietal diversification in oat breeding. Agronomy Journal 44:30-34.

Knott EA & CC Mundt (1990) Mixing ability analysis of wheat cultivar mixtures under diseased and nondiseased conditions. Theoretical and Applied Genetics 80: 313-320.

Korwar GR & GD Radder (1997) Alley cropping of sorghum with Leucaena during the post rainy season on Vertsols in semi arid India. Agoforestry Systems 37:265-277.

Lannou C, C de Vallavieille-Pope, C Bias & H Goyeau (1994 a) The efficacy of mixtures of susceptible and resistant host to two wheat rusts of different lesion size: controlled condition experiments and computerized simulations. Journal of Phytopathology 140:227-237.

Lannou C, C de Vallavieille-Pope & H Goyeau (1994b) Host mixture efficacy in disease control: effects of lesion growth analyzed trough computer-simulated epidemics. Plant Pathology 43: 651-662.

Lesoing GW & CA Francis (1999) Strip intercropping of corn-soybean in irrigated and rainfed environments. Journal Prod. Agric. 12 (2):187-192.

Liebman M & E Dyck (1993) Crop rotation and intercropping strategies for weed management. Ecological Applications 3 (1): 92-122.

Lupton FGH, RH Oliver, FB Ellis, BT Barnes, KR House, PJ Welbank & PJ Taylor (1974) Root an shoot growth of

semi-dwarf and tall winter wheats. Annals of Applied Biology 77:129-144.

Martín RC, T Astatkie & JM Cooper (1998) The effect of soybean variety on corn -soybean intercrop biomass and protein yields. Canadian Journal of Plant Sciences 78:289-294.

Mc Kenzie H. & MN Grant (1980) Survival of common spring wheat cultivars grown in mixtures in three environments. Canadian Journal of Plant Sciences 60:1309-1313.

Morris RA, C Siri-Udompas & HS Centen (1990) Effects of crop proportion on intercropped upland rice and cowpea 1. Grain yields. Field Crop Res 24:33-49.

Mundt CC & LS Brophy (1988) Influence of number of host genotype units on the effectiveness of host mixtures for disease control: A modeling approach. Phytopathology 78:1087-94.

Mundt CC & JA Browning (1985) Genetic diversity and cereal rust management. In: The cereal rusts. Roelfs AP & WR Bushnell, (Eds.). Vol 2. Orlando, FL, Academic Press: 527-60.

Mundt CC, LS Brophy & SC Kolar (1996) Effect of genotype unit number and spatial arrangement on severity of yellow rust in wheat cultivar mixtures. Plant Pathology 45:215-222.

National Research Council. (1989) Alternative agriculture. Committee on the role of alternative farming methods in modern production agriculture. National Academy Press, Washington, DC 448 pp.

Nihoul P & T Hance (1994) Implications of intercropping sweet pepper/tomato for the biological control of pests in glasshouses. Development in Plant and Social Sciences 61:205-211.

Perry MW & MF D'Antuono (1989) Yield improvement and associated characteristics of some Australian spring wheats introduced between 1860-1982. Australian Journal of Agricultural Research 40:458-72.

Potts MJ & N Gunadi (1991) The influence of intercropping with Allium on some insect populations in potato (*Solanum tuberosum*). Annals of Applied Biology 119:207-213.

Prasad R & MR Reddy (1973) Note on the efficient use of solar energy trough a mixed culture of wheat genotypes. Indian Journal of Agricultural Sciences 45:528-529.

Prasad R & SN Sharma (1980) Systematic mixed stands of spring wheat cultivars. Journal of Agricultural Science, Cambridge. 94:529-532.

Putnam DH & DL Allan (1992) Mechanisms for overyielding in a sunflower/mustard intercrop. Agronomy Journal 84(2): 188-195.

Ramalho MAP, AC Oliveira & JC García (1983) Recomendacoes para o planejamento e analise de experimentos com as culturas de milho e feijão consorciadas. EMBRAPA-CNPMS. Documentos 2, 74 pp.

Rattunde HF, VM Ramraj, JH Williams & RW Gibbon (1988) Cultivar mixtures: a means of exploiting morpho-developmental differences among cultivated groundnuts. Field Crop Research 19: 201-210.

Reynolds MP, KD Sayre, & HE Vivar (1994) Intercropping wheat and barley with N-fixing legume species: a method for improving ground cover, N-use efficiency and productivity in low input systems. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 123: 175-183.

Rrezende GDSP & MA Ramalho (1994) Competitive ability of maize and common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars intercropped in different environments: Journal of Agricultural Science 123:185-190.

Samui RC, A Roy & P Bhattacharyya (1984) Effect of intercropping on growth parameters of groundnut and sunflower. J Agronomy and Crop Sci 153:161-166

Sarandón SJ (1999) Wheat as a polyculture component. In: Wheat: ecology and physiology of yield determination." Satorre E & G Slafer (Eds.) Food Product Press (New York, USA), an imprint of The Haworth Press, Inc. Chapter 11: 239-260.

Sarandón SJ (2000) Manejo de la biodiversidad en sistemas extensivos. Boletín de ILEIA 15 (3-4): 16-17

Sarandón SJ & R Sarandón (1993) Un enfoque ecológico para una agricultura sustentable. En: Elementos de Política Ambiental. Goin J y C Goñi (Ed.). H Cámara de Diputados de la Pcia. de Buenos Aires, Cap 19:279-286.

Sarandón SJ & R Sarandón (1995) Mixture of cultivars: plot field trial of an ecological alternative to improve production or quality of wheat (*Triticum aestivum* L). Journal of Applied Ecology 32: 288-294.

Shaalan MI, EG Heyne & JR Lofgren (1966) Mixtures of hard red winter wheat cultivars. Agronomy Journal 58 (1): 89-91.

Sharma SN & R Prasad (1978) Systematic mixed versus pure stands of wheat genotypes. Journal of Agricultural Science, Cambridge., 90:441-444.

Siddique KHM, RK Beldford & D Tennant (1990) Root: shoot ratios of old and modern, tall and semi-dwarf wheats in a mediterranean environment. Plant and Soil 121: 89-98.

Silvertown JM (1982) Introduction to plant population ecology. Longman. London. pp 209.

Simmonds NW (1962) Variability in crop plants, its use and conservation. Biological Review, 37(3): 422-465.

Singh MK, S Pasupalak, SK Pal, R Thakur & UN Verma (1995) Effect of fertilizer and plant density management on productivity and economics of maize (*Zea mays*) +blackgram (*Phaseolus mungo*) intercropping. Indian Journal of Agricultural Science 65:800-803.

Singh SP (1983) Summer legume intercrop effects on yield and nitrogen economy of wheat in the succeeding season. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 101: 401-405.

Slafer GA. & FH Andrade (1989) Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum*) Yield in Argentina. Field Crop Research 21 (3-4): 289-297.

Smithson JB & JM Lenné (1997) Varietal mixtures: a viable strategy for sustainable productivity in subsistence agriculture. Annals of applied Biology. 128: 127-158.

Srinivasan K & PN Krishna Moorthy (1991) Indian mustard as a trap crop for management of major lepidopterous pest on cabbage. Trop. Pest. Mgt 37:26-32.

Stützel H & W Aufhammer (1990) The physiological causes of mixing effects in cultivar mixtures: A general hypothesis. Agricultural Systems 32: 41-53.

Trenbath BR (1972) The productivity of varietal mixtures of wheat. Ph. D. Thesis, University of Adelaide.

Trenbath BR (1974) Biomass productivity of mixtures. Advances in Agronomy 26: 177-210.

Trenbath BR (1986) Resource use by intercrops. In: Multiple cropping systems. ChA Francis (Editor), Macmillan Publishing Company, New York, 57-81.

van Kessel C, PW Singleton & HJ Hoben (1985) Enhanced N-transfer from soybean to maize by vesicular arbuscular mycorrizhal (VAM) fungi. Plant Physiology 79: 562-563.

Vandermeer J (1989) The ecology of intercropping. Cambridge University Press. Cambridge, New York, 237 pp.

Varis AL (1991) Effect of intercropping carrots and onions on damage caused by the carrot fly, *Psila rosae* (F) (Díptera:Psilidae). Journal of Agric Sci in Finland 63:411-414.

Wahau TAT & Miller DA (1978) Relative yield totals and yield components of intercropped sorghum and soybeans. Agronomy Journal 70:287-291.

West TD & DR Griffith (1992) Effect of strip intercropping corn and soybean on yield and profit. Journal of Production Agriculture 5(1): 107-110.

Wien HC and JB Smithson (1981) The evaluation of genotypes for intercropping. In: ICRISAT (International Crop Institute for semiarid Tropics). Proceedings of the International Workshop on Intercropping, Hyderab, India, 1979: 105-116.

Wiley RW & DSO Osiru (1972) Studies on mixtures of maiz and bean (*Phaseolus vulgaris*) with particular reference to plant populations. Journal of Agricultural Science, Camb. 79:517-529.

Willey RW (1981) A scientific approach to intercropping research. In: ICRISAT (International Crop Institute for semiarid Tropics) Proceedings of the International Workshop on Intercropping, Hyderab, India, 1979: 4-14.

Willey RW & MR Rao (1981) Genotypes studies at ICRISAT. In: ICRISAT (International Crop Institute for semiarid Tropics) Proceedings of the International Workshop on Intercropping, Hyderab, India, 1979: 117-121.

Willey RW & MS Reddy (1981) A field technique for separating above and below ground interactions in intercropping: an experiment with pearl millet/groundnut. Experimental Agriculture 17: 257-264.

Wolfe MS (1985) The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance. Annual Review of Phytopathology 23:251-73.

Zhou XM, CA Madramootoo, AF Mac Kenzie & DL Smith (1997) Biomass production and nitrogen uptake in corn -ryegrass systems. Agron Journal 89:749-756.

Zimmerman MJO (1996) Breeding for yield in mixtures of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and maize (*Zea mays* L.) Euphytica, 92:129-134.

Los impactos ecológicos de los cultivos transgénicos y las razones por las que la biotecnología agrícola es incompatible con una agricultura sostenible

Miguel A. Altieri

1. Introducción

Los cultivos transgénicos son una característica cada vez más dominante en los paisajes agrícolas de USA, China, Argentina, México y Canadá. A nivel mundial, el área plantada con cultivos transgénicos creció veinte veces desde 3 millones de hectáreas en l996 hasta 40 millones en l999. Esta tecnología ha estado impulsada principalmente por empresas multinacionales como Monsanto, DuPont y Novartis, para las cuales los cultivos transgénicos son una manera de reducir la dependencia de insumos, tales como plaguicidas y fertilizantes. Lo irónico de esta " biorrevolución ", es que está siendo introducida por los mismos intereses que promovieron la primera ola de agricultura basada en agroquímicos. Ahora, equipando cada cultivo con nuevos "genes insecticidas", prometen al mundo plaguicidas más seguros, disminución en el uso intensivo de agroquímicos y una agricultura más sostenible.

Mientras que los cultivos transgénicos sigan ciegamente el paradigma de los plaguicidas, los productos biotecnológicos no harán sino aumentar los problemas ecológicos provocados en la era de los agroquímicos, legitimando las preocupaciones que tantos científicos han expresado sobre los posibles riesgos ambientales de los organismos modificados genéticamente. Dado el poder que tiene la biotecnología para producir combinaciones de genes que no se encuentran de forma natural, los riesgos ecológicos más graves que presenta el uso comercial de cultivos transgénicos son, de acuerdo a varios autores (Rissler & Mellon, 1996; Krimsky & Wrubel, 1996):

a) la expansión de los cultivos transgénicos amenaza la diversidad genética al promover la simplificación de los sistemas de cultivos y la acentuación de la erosión genética;
b) la transferencia potencial de genes de cultivos resistentes a herbicidas hacia variedades

silvestres o parientes semidomesticados a través de flujo genético, vía polen, puede crear supermalezas;
c) los cultivos resistentes a herbicidas se pueden transformar en malezas en las cosechas siguientes;
d) el uso de cultivos resistentes a herbicidas puede disminuir las posibilidades de diversificación de cultivos y dar lugar a una reducción de la agrobiodiversidad;
e) la transferencia horizontal de genes, a través de vectores y su recombinación, puede crear nuevas bacterias patógenas;
f) la recombinación de vectores que generan variedades de virus más nocivas, sobre todo en plantas transgénicas con genes virales diseñadas para ser resistentes a los virus.
g) el riesgo de que los insectos plaga rápidamente desarrollen resistencia a los cultivos que contienen la toxina de *Bacillus thuringiensis* (Bt);
h) el uso masivo de la toxina de Bt en cultivos puede desencadenar interacciones potencialmente negativas que afecten a procesos ecológicos, tanto en el suelo como en el ambiente agrícola y reduzcan poblaciones de organismos benéficos en el suelo y en las cadenas tróficas.

Se evalúan aquí los impactos potenciales de la biotecnología agrícola en el contexto de metas agroecológicas que apunten hacia una agricultura socialmente más justa, económicamente viable y ecológicamente apropiada. Tal evaluación es oportuna dado que a nivel mundial el área bajo monocultivos transgénicos aumenta enormemente por presiones comerciales y de mercados, y con la agravante de que en la mayoría de los países no existen regulaciones estrictas de bioseguridad que tengan en cuenta la variedad de problemas ambientales que pueden surgir cuando se liberan al medio ambiente plantas diseñadas por ingeniería genética. No existen estudios ni investigaciones que den, hasta el momento, una consideración adecuada de los impactos a largo plazo sobre las personas o el ecosistema.

2. Actores y orientaciones en investigación

La mayoría de las innovaciones en biotecnología agrícola están motivadas más por un afán de lucro, que por la búsqueda de respuestas a las necesidades humanas, por lo que el énfasis de la industria de la ingeniería genética realmente no está puesto en resolver los problemas agrícolas, sino en el incremento de la rentabilidad. Esta aseveración se apoya en el hecho de que al menos 27 empresas, entre las que se incluyen las ocho compañías de plaguicidas más grandes del mundo, Bayer, Ciba-Geigy (ahora Novartis), ICI, Rhone-Poulenc, Dow/Elanco, Monsanto, Hoescht y DuPont, y virtualmente todas las compañías de semillas, muchas de las cuales han sido adquiridas por compañías químicas, han comenzado investigaciones sobre plantas resistentes a herbicidas.

Entre 1986 y 1992, el 57% de todos los ensayos de campo para experimentar con cultivos transgénicos en países industrializados implicaban la resistencia a herbicidas, y

el 46% de los que solicitaron al Ministerio de Agricultura de Estados Unidos (USDA) pruebas de campo, fueron compañías químicas. Entre los cultivos diseñados para la tolerancia genética a uno o más herbicidas se incluyen actualmente: alfalfa, canola, algodón, maíz, avena, petunia, patata, arroz, sorgo, soja, remolacha, caña de azúcar, girasol, tabaco, tomate, trigo y otros. Está claro que, creando cosechas resistentes a sus herbicidas, una compañía puede expandir el mercado de sus productos químicos patentados. Se estima que el valor del mercado para cultivos resistentes a plaguicidas rondará los 500 millones de dólares en el año 2000 (James, 1997).

Aunque algunas pruebas son conducidas por universidades y organizaciones de investigación avanzada, la agenda de investigación de estas instituciones está cada vez más influenciada por el sector privado. El 46% de las empresas de biotecnología financian la investigación biotecnológica llevada a cabo en las universidades, mientras que 33 de los 50 estados de los Estados Unidos tienen centros compartidos entre universidad e industria para la transferencia de biotecnología. El desafío para estas instituciones será, no sólo asegurar que se investiguen los aspectos ecológicamente apropiados de la biotecnología (tales como fijación de nitrógeno y tolerancia a la sequía), sino también supervisar y controlar cuidadosamente la entrega del conocimiento común al sector privado, para garantizar que ese conocimiento siga siendo de dominio público y beneficie a toda la sociedad.

3. Biotecnología y agrobiodiversidad

Las empresas multinacionales, en la actualidad, tienden a crear amplios mercados internacionales para un sólo producto, generando así las condiciones para la uniformidad genética en el paisaje rural. Además, la protección de patentes y los derechos de propiedad intelectual adoptados por la Organización Mundial de Comercio (OMC), no permiten a los agricultores reutilizar, compartir ni almacenar sus semillas, aumentando así la posibilidad de que unas pocas variedades lleguen a dominar todo el mercado de semillas. Aunque un cierto grado de uniformidad de los cultivos puede tener ciertas ventajas económicas, tiene 2 inconvenientes ecológicos. Primero, la historia ha demostrado que un área extensa dedicada a un sólo cultivo es muy vulnerable a un nuevo patógeno o plaga. Y segundo, el uso extendido de un sólo cultivo lleva a la pérdida de la diversidad genética.

Datos provenientes de la Revolución Verde demuestran claramente que la difusión de variedades modernas, apoyadas en enormes campañas gubernamentales que animaron a los agricultores a adoptarlas y abandonar muchas variedades locales, ha sido una causa importante de la erosión genética. La uniformidad causada por el aumento de áreas de cultivo dedicadas a un número menor de variedades es una fuente de riesgo para los agricultores ya que las variedades modernas pueden ser más vulnerables a los ataques de enfermedades y plagas, y la mayoría se desarrolla pobremente en tierras marginales (Robinson, 1996).

Los efectos anteriores no son sólo característicos de las variedades modernas y cabe esperar, dada la naturaleza monogénica y la rápida expansión de sus áreas de cultivo, que los cultivos transgénicos sólo exacerben esos efectos.

4. Problemas ambientales de los cultivos resistentes a los herbicidas

Según los defensores de los cultivos resistentes a herbicidas, esta tecnología representa una innovación que permite a los agricultores simplificar las tareas de control de malezas, al reducir el uso de herbicidas a situaciones de post-emergencia, usando un sólo herbicida de amplio espectro que se descompone con relativa rapidez en el suelo. Los herbicidas con esas características incluyen entre otros el glifosato, el bromoxynil, la sulfonylurea, el imidazolinones y el glufosinato amonio.

Sin embargo, en la actualidad, el uso de cultivos resistentes a herbicidas probablemente incrementará el uso de herbicidas específicos, y dada la cantidad de herbicidas y las extensas áreas de cultivo es probable que se eleven también los costos de producción. Los ecologistas también prevén un gran número de graves problemas ambientales.

4.1. Resistencia a herbicidas

Ha sido probado que cuando se utiliza un sólo herbicida reiteradamente sobre un cultivo, aumentan en gran medida las posibilidades de que la población de malezas desarrolle resistencia al herbicida. Las sulfonylureas y los imidazolinones son particularmente propensos a la rápida evolución de malezas resistentes y se conocen hasta 14 especies de malezas que se han vuelto resistentes a los herbicidas con sulfonylurea. (Holt & Le Baron, l993). Ya existen dos especies de malezas que han desarrollado resistencia a glifosato, *Eleusine indica* en Malasia y *Lolium rigidum* en Australia. El problema es que dada la presión de la industria para aumentar las ventas, la superficie tratada con herbicidas de amplio espectro se extenderá (alcanzó 28 millones de hectáreas en l999), exacerbando el problema de la generación de resistencia.

4.2. Impactos ecológicos de los herbicidas

Las compañías afirman que el bromoxynil y el glifosato, cuando se aplican correctamente, se degradan rápidamente en el suelo, no se acumulan en las aguas subterráneas, no tienen efectos sobre otros organismos que no sean sus objetivos y no dejan residuos en los alimentos. Sin embargo, hay evidencia de que el bromoxynil causa defectos de nacimiento en animales de laboratorio, es tóxico para los peces y puede causar cáncer en seres humanos. Debido a que el bromoxynil es absorbido por vía dermatológica, y a

que causa defectos de nacimiento en roedores, es probable que presente riesgos para los agricultores y trabajadores del campo (Paoletti & Pimentel, 1996).

Igualmente hay informes que afirman que el glifosato puede ser tóxico para algunas especies que habitan en el suelo y que son distintas de sus plantas objetivo, tanto para depredadores benéficos como arañas, ácaros, escarabajos carábidos y coccinélidos y detritívoros (Ej. las lombrices de tierra), como para diferentes organismos acuáticos, incluso peces. Se sabe que este herbicida se acumula en frutas y tubérculos, ya que experimenta una escasa degradación metabólica en las plantas, lo que plantea interrogantes sobre la seguridad de estas plantas tratadas, para ser usadas como alimento.

4.3. La creación de "supermalezas"

Aunque existe la preocupación acerca de que los cultivos transgénicos se puedan convertir a su vez en malezas, el mayor riesgo ecológico es que liberaciones a gran escala de cultivos transgénicos puedan provocar el flujo de transgenes de los cultivos a otras plantas silvestres que entonces pueden transformarse en malezas. El proceso biológico que preocupa aquí es la introgresión, es decir, la hibridación entre distintas especies de plantas. La evidencia indica que ya existen tales intercambios genéticos entre plantas silvestres, malezas y cultivos. La incidencia del sorgo bicolor, una maleza emparentada con el sorgo, y el flujo genético entre el maíz y el teosinte, demuestran el potencial de los parientes cercanos de los cultivos transgénicos para volverse malezas peligrosas. Esto es preocupante ya que varios cultivos crecen cerca de parientes silvestres sexualmente compatibles. Existen estudios que documentan que la resistencia transgénica al glufoinate es capaz de pasarse de *Brassica napus* a poblaciones silvestres de *Brassica napa* y de persistir bajo condiciones naturales. También hay cultivos que crecen en las proximidades de malezas silvestres que no son parientes cercanos pero que pueden tener algún grado de compatibilidad cruzada tales como los cruzamientos de *Raphanus raphanistrum* X *R.. sativus* (rábano) y del pasto Johnson x maíz sorgo (Darmency, 1994).

Evidencias sugieren que la creación de supermalezas puede originarse por el paso de una característica de "fitness" de cultivos transgénicos a malezas. Este es el caso de la introgresión de *Avena sativa* transgénica resistente al virus BYDB, que podría conferir resistencia al virus a *Avena fatua,* una maleza susceptible al virus, liberando así a la maleza de un factor de supresión natural.

4.4. Reducción de la complejidad del agroecosistema

La eliminación total de malezas, mediante el empleo de herbicidas de amplio espectro, puede provocar impactos ecológicos indeseables ya que se ha demostrado que un nivel adecuado de diversidad de malezas en los alrededores o dentro de los campos de cultivo, puede jugar un papel ecológico importante, como por ejemplo la estimulación del con-

trol biológico de plagas, y la mejora de la cobertura protectora contra la erosión del suelo.

Lo más probable es que los cultivos resistentes a herbicidas refuercen el monocultivo al inhibir las rotaciones y los policultivos sensibles a los herbicidas empleados en los cultivos resistentes a éstos. Tales agroecosistemas, empobrecidos en su diversidad vegetal, proporcionan las condiciones óptimas para el crecimiento libre de malezas, insectos y enfermedades, ya que muchos nichos ecológicos no serán ocupados por otros organismos. Es más, los cultivos resistentes a herbicidas, a través del incremento de la efectividad del herbicida, podrían reducir aún más la diversidad vegetal, al favorecer cambios en la composición y abundancia de la comunidad de malezas y especies competitivas que se adaptan a esos tratamientos de post-emergencia de amplio espectro (Altieri, 1994).

5. Riesgos ambientales de los cultivos resistentes a insectos

5.1. Resistencia

Según la industria, los cultivos transgénicos con inserción de genes de Bt *(Bacillus thuringiensis),* prometen reemplazar el uso de insecticidas sintéticos en el control de plagas de insectos. Sin embargo, puesto que la mayoría de los cultivos padecen diversas plagas de insectos, igualmente habrá que aplicar insecticidas para controlar otras plagas diferentes a los Lepidóptera, que son los sensibles a la endotoxina expresada por los cultivos Bt (Gould, 1994).

Por otro lado, se sabe que varias especies de Lepidóptera han desarrollado resistencia a la toxina Bt, tanto en pruebas de campo como de laboratorio, lo que hace suponer graves problemas de resistencia en cultivos Bt, donde la expresión continua de la toxina crea una fuerte presión selectiva. Ya que se ha aislado una diversidad de genes de la toxina Bt, los biotecnólogos argumentan que si se desarrolla resistencia a ellos, pueden usarse formas alternativas de la toxina Bt. Sin embargo, ya que es probable que los insectos desarrollen resistencia múltiple o resistencia cruzada, tal estrategia también está condenada al fracaso. Hoy en día, ningún entomólogo serio cuestiona el desarrollo o no de resistencia, la cuestión es cuan rápido.

Basándose en experiencias pasadas con plaguicidas, otros han propuesto planes de manejo de la resistencia con cultivos transgénicos, tales como el uso de mezclas de semillas y refugios. Para ser efectivos los refugios deben comprender entre 20-30% del área cultivada y no ser asperjados con químicos, por lo que en estas áreas el cultivo sufrirá un gran daño por plagas. ¿Qué agricultor estará dispuesto a asumir tal pérdida? Los refugios no sólo requieren de la difícil tarea de coordinación regional entre agricultores, sino que además han presentado un éxito muy reducido con los plaguicidas químicos, debido a que las poblaciones de insectos no están restringidas a un agroecosistema cerrado, y los insectos que entran están expuestos a dosis cada vez más bajas de la toxina a medida que el plaguicida se degrada.

5.2. Impactos sobre otros organismos

Al mantener a la población de plagas en niveles sumamente bajos, los cultivos de Bt pueden causar la mortandad por hambre de sus enemigos naturales, debido a que estos insectos beneficiosos necesitan, por lo menos, una cantidad pequeña de presas para sobrevivir en el agroecosistema. Los insectos parásitos serían los más afectados, ya que dependen de huéspedes vivos para su desarrollo y supervivencia, mientras que algunos depredadores podrían teóricamente alimentarse de presas muertas o agonizantes.

También se podrían afectar directamente a enemigos naturales a través de los efectos de la toxina a nivel intertrófico. Estudios realizados con papas que poseen la lectina GNA en Escocia sugieren que los áfidos fueron capaces de secuestrar la toxina de la papa y transferirla a sus depredadores (coccinélidos), afectando a su vez la reproducción y longevidad de estos escarabajos benéficos. En Suiza se encontró que la toxina Bt Cry1 Ab afectó negativamente al predator *Chrysoperla carnea.* Todos los herbívoros que colonizan cultivos Bt en el campo, aunque no sean letalmente afectados pueden ingerir tejidos que contienen la proteína Bt la que pueden pasar a sus enemigos naturales en una forma más o menos procesada. La posibilidad de que las toxinas de Bt se muevan a través de las cadenas alimentarias de los artrópodos presenta graves implicaciones para el control biológico en el agroecosistema (Hilbeck *et al.*, 1998).

Las toxinas de Bt pueden incorporarse al suelo a través del material vegetal que se descompone, y pueden persistir entre 2 y 3 meses, resistiéndose a la degradación al ligarse a las partículas húmicas o de arcilla, mientras mantienen la actividad de la toxina (Donegan & Seidler, l999). Existen estudios que documentan la presencia de excreciones radiculares de la toxina provenientes de maíz Bt (Saxena *et al.*, l999) . Estas toxinas activas de Bt que se acumulan en el suelo y en el agua y que provienen de los desechos de cultivos transgénicos, pueden afectar negativamente a los invertebrados y microorganismos terrestres y acuáticos, así como a los procesos cíclicos de nutrientes (Palm *et al.*, l996). Investigadores en Cornell, encontraron que el polen depositado en vegetación adyacente a los campos puede afectar a poblaciones de Lepidópteros no plaga, como el caso de la mariposa monarca (Losey *et al.*, l999). Todos estos aspectos merecen una investigación más seria que aquella a la que han sido sometidos.

5.3. Efectos cascada

Una consecuencia muy grave para el medio ambiente, como resultado del uso masivo de la toxina de Bt en algodón u otro cultivo que ocupe una gran superficie del paisaje agrícola, es que los agricultores vecinos con cultivos diferentes al algodón, pero que comparten complejos similares de plagas, pueden ver cómo poblaciones de insectos resistentes colonizan sus campos. Es posible que plagas de Lepidóptera que desarrollan resistencia al algodón Bt se muden a los campos adyacentes, donde muchos agricultores con-

vencionales y orgánicos usan Bt como un insecticida microbiano, lo que dejaría a éstos indefensos ante tales plagas, ya que el bioplaguicida sería ineficaz, perdiendo una herramienta importante de control biológico. ¿Quién se hará responsable de tales pérdidas?

6. Impactos de los cultivos resistentes a enfermedades

Algunos científicos han intentado diseñar plantas resistentes a infecciones patógenas incorporando genes para productos virales en el genoma de las plantas. Aunque el uso de genes virales para la resistencia a virus en cultivos tiene beneficios potenciales, hay algunos riesgos. La recombinación entre el ADN del virus y un ADN viral dentro del cultivo transgénico, podría producir un nuevo patógeno que provoque problemas de enfermedad más severos. Algunos investigadores han demostrado que en plantas transgénicas ocurren recombinaciones y que, bajo ciertas condiciones, se puede producir una nueva raza viral con un rango alterado de huéspedes (Snow & Moran, 1997).

La posibilidad de que las plantas transgénicas resistentes a los virus puedan ampliar el rango de huéspedes de algunos virus, o puedan permitir la producción de nuevas razas de virus a través de la recombinación y/o la transcapsidación exige una investigación experimental cuidadosa.

7. Conclusiones

La historia de la agricultura nos enseña que las enfermedades de las plantas, las plagas de insectos y las malezas se volvieron más severas con el desarrollo del monocultivo, y que los cultivos intensivos y manipulados genéticamente pierden pronto su diversidad genética. Con estos antecedentes no hay razón para creer que los insectos, malezas y patógenos no desarrollarán resistencia a los cultivos transgénicos, como ha sucedido con los plaguicidas. No importa qué estrategias se usen para retardar la resistencia, las plagas se adaptarán y superarán las barreras agronómicas. Las enfermedades y las plagas siempre han aumentado con los cambios que implica una mayor homogeneidad en la agricultura.

El hecho de que la hibridación interespecífica y la introgresión sean comunes a especies tales como girasol, maíz, sorgo, colza, arroz, trigo y patatas, sienta las bases para esperar un flujo de genes entre los cultivos transgénicos y sus parientes silvestres creando así nuevas malezas resistentes a los herbicidas. A pesar de que algunos científicos argumentan que la ingeniería genética no es diferente al mejoramiento convencional, los críticos de la biotecnología afirman que la tecnología del ADN recombinante permite la expresión de nuevos genes exóticos en las plantas transgénicos. Estas transferencias de genes están mediadas por vectores que derivan de virus y plásmidos causantes de enfermedades, que tienen la capacidad de atravesar las barreras entre las especies de tal forma

que pueden transferir genes entre una gran variedad de especies, infectando así a muchos otros organismos del ecosistema (Streinbrecher, 1996).

Pero los efectos ecológicos no se limitan a la resistencia de las plagas y la creación de nuevas malezas o tipos de virus. Como se argumenta aquí, los cultivos transgénicos pueden producir toxinas ambientales que se mueven a través de la cadena alimenticia y que también pueden terminar en el suelo y el agua afectando a invertebrados y probablemente a procesos ecológicos tales como el reciclaje de nutrientes. Además la simplificación típica de los agroecosistema con transgénicos dominados por una especie o variedad, agravará aún más los efectos ecológicos de la agricultura moderna carente de biodiversidad.

Lo más importante sin embargo es analizar el porqué se ha desarrollado esta tecnología, cuando existen alternativas para superar todos los problemas de plagas para los que supuestamente se han desarrollado los transgénicos. En el caso del algodón se ha probado que en la mayoría de los casos, en EEUU no es necesario, pues las plagas de lepidópteros son plagas secundarias creadas por un mal uso de insecticidas. La mayoría de ellas se controla cesando el uso de insecticidas de manera tal de dejar que actúen los enemigos naturales. La mayoría de los estudios demuestran que los rendimientos de los CRH (cultivos resistentes a insecticidas) no se incrementan, de hecho la soja RR presenta menores rendimientos que la convencional, y el maíz Bt presenta en promedio rendimientos l0-20% mayores sólo bajo condiciones de alta incidencia de la plaga clave del maíz. El ahorro en el uso de insecticidas ha sido mínimo y esto sólo mientras los lepidópteros no desarrollen resistencia. En cambio, sistemas alternativos de producción de maíz, que no usan pesticidas, muestran rendimientos comparables (4,8-9 $TM.ha^{-1}$) a los de agricultores convencionales (5-7 $TM.ha^{-1}$) y a los transgénicos cuyos rendimientos no sobrepasan 8 o 9 $TM.ha^{-1}$.

Altieri MA (1994) Biodiversity and pest management in agroecosystems. Haworth Press, New York. 185 pp.

Darmency H (1994) The impact of hybrids between genetically modified crop plants and their related species: introgression and weediness. Molecular Ecology 3: 37-40.

Donegan K & RJ Seidler (l999) Effects of transgenic plants on soil and plant microorganisms. Recent Research Devel Microbiol 3: 4l5-424.

Gould F (1994) Potential and problems with high-dose strategies for pesticidal engineered crops. Biocontrol Science and Technology 4: 451-461.

Hilbeck A, M Baumgartner, PM Fried & F Bigler (1998) Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Environmental Entomology 27: 460-487.

Holt JS & HM Le Baron (1993) Significance and distribution of herbicide resistance. Weed Technol 4: 141-149.

James RR (1997) Utilizing a social ethic toward the environment in assessing genetically engineered insect-resistance in trees. Agriculture and Human Values 14: 237-249.

Krimsky S & RP Wrubel (1996) Agricultural biotechnology and the environment: science, policy and social issues. University of Illinois Press, Urbana. 236 pp.

Losey J, LS Rayor & ME Carter (l999) Transgenic pollen harms monarch butterfly. Nature 400: 5l9.

Palm CJ, DL Schaller, KK Donegan & RJ Seidler (1996) Persistence in soil of transgenic plant produced *Bacillus thuringiensis* var. Kustaki -endotoxin. Canadian J of Microbiology 42: 1258-1262.

Paoletti MG & D Pimentel (1996) Genetic engineering in agriculture and the environment: assessing risks and benefits. BioScience 46: 665-671.

Rissler J & M Mellon (1996) The ecological risks of engineered crops. MIT Press, Cambridge. 127 pp.

Robinson RA (1996) Return to resistance: breeding crops to reduce pesticide resistance. AgAccess, Davis. 213 pp

Saxena D, S Flores & G Stotsky (1999) Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. Nature 402: 480

Snow AA & P Moran (1997) Commercialization of transgenic plants: potential ecological risks. BioScience 47: 86-96.

Steinbrecher RA (1996) From green to gene revolution: the environmental risks of genetically engineered crops. The Ecologist 26: 273-282.

Manejo agroecológico del suelo en sistemas andinos

Carmen Felipe-Morales B.

1. Introducción

El suelo, conjuntamente con el agua, constituyen sin lugar a dudas dos recursos esenciales para la agricultura. Pero, a diferencia del agua, recurso que se renueva en un tiempo relativamente breve, a través del ciclo hidrológico, la formación y renovación del suelo exige un mayor tiempo a la escala humana, de tal modo, que su escasez actual es determinante para establecer el potencial agrario de un país o una región.

El suelo, como se sabe, es una formación natural, producto de la descomposición de las rocas y minerales, a través de un largo período de tiempo. Contiene, además de minerales, un componente muy valioso como es la materia orgánica y alberga una población de microfauna y microorganismos que le da, conjuntamente con la materia orgánica, un carácter dinámico y viviente.

Lamentablemente este concepto de suelo es poco comprendido en una agricultura con enfoque convencional y rentista, en la cual el suelo es entendido únicamente como el soporte físico de las plantas y el "dador" de nutrientes y si estos no existen en forma natural, se les añade a través de la práctica de la fertilización química.

En tal sentido, el suelo es objeto de numerosas agresiones: labranza intensiva, aplicación exagerada de sustancias químicas, muchas de ellas biocidas para la población orgánica del suelo, riegos copiosos, quema de rastrojos, sobrepastoreo cultivo en sentido de la máxima pendiente, etc. Todo ello ha traído como consecuencia problemas de empobrecimiento, contaminación y erosión del suelo.

Si tomamos el caso de los países de la erosión Región Andina, ellos se encuentran severamente afectados por problemas de erosión, en razón de un mal manejo de sus suelos, agravado por las fuertes pendientes que caracterizan a esta región. Así en Colombia, se estima que el 75% de su territorio está afectado por erosión en diversos grados de magnitud. En el caso del Perú, el 60% de los suelos de la Sierra o Región Andina, presentan problemas de erosión en grado moderado a severo. Esta situación, es tanto más preocupante si se tiene en cuenta que en la Sierra Peruana el porcentaje de tierras con potencial agrícola es de solo 3,5% del total de tierras existentes en esta Región.

En una agricultura con enfoque agroecológico, el suelo constituye la base de su productividad. En tal sentido, cuidar y conservar el suelo, es una tarea fundamental.

2. Principios para un manejo agroecológico del suelo

Para un manejo agroecológico del suelo es preciso entender algunos principios básicos que rigen su comportamiento. Estos son:

• Entender que el suelo es un sistema dinámico y con vida. Ello significa que el suelo es un sistema de complejas interrelaciones recíprocas entre sus componentes físicos, químicos y biológicos, por lo tanto la modificación de uno de ellos trae consigo una alteración del suelo en su conjunto. Si intervenimos irracionalmente, las modificaciones serán inesperadas y adversas. Por el contrario, si manejamos adecuadamente el suelo se podrán lograr resultados altamente beneficiosos.

Por otro lado, se debe concebir al suelo no como un ente estático, soporte de la vegetación, sino como a un ente dinámico con una vida que se debe conocer, cuidar y respetar.

• Conceptualizar de manera integral la fertilidad del suelo, la cual no debe restringirse sólo a la fertilidad química sino a la fertilidad física y biológica.

• Manejar eficientemente los nutrientes del suelo tendiendo al reciclaje de ellos. En este aspecto cabe destacar el rol fundamental que tiene la materia orgánica.

• Asegurar un "microclima" benéfico al suelo, evitando la exposición directa de éste a la acción de los factores climáticos.

• Asegurar permanentemente la conservación del agua y del suelo.

• Saber manejar y no exterminar a la población orgánica del suelo.

• Tratar de conocer y entender las prácticas tradicionales de manejo del suelo, rescatando aquellas que tengan un enfoque agroecológico.

• Todas las medidas que contribuyan a la recuperación de las condiciones favorables del suelo, contribuyen igualmente a la sanidad vegetal.

3. La materia orgánica: un componente fundamental del suelo

La base de la fertilidad del suelo, entendida en su expresión más amplia, radica en la materia orgánica (MO) y su transformación en humus. Esta fracción coloidal de la materia orgánica, al ligarse íntimamente con la fracción de arcilla, forma los complejos arcillo - húmicos. Estos a su vez aseguran la formación de agregados estables en el suelo, es decir, de una bioestructura favorable a la retención y circulación del agua, a la circulación del aire, y a la penetración de las raicillas de las plantas. Por otro lado, suelos bien estructurados desarrollan una mayor resistencia a la erosión tanto hídrica como eólica.

La fertilidad física del suelo es por lo tanto mejorada con la aplicación de MO, pero tam-

bién la fertilidad química y biológica. Es así que, durante el proceso de descomposición de la MO hacia la formación del humus, se liberan diversos nutrientes (nitrógeno amoniacal y nítrico, ácidos fosfórico, azufre, calcio, potasio, magnesio, etc.) que las plantas pueden aprovechar.

Por otro lado, la actividad biológica del suelo se incrementa con el contenido de MO. Se ha constatado así que este incremento de la actividad biológica es una forma de control de ciertas plagas como los nemátodos del suelo (Primavesi, 1982). Lo que se estaría propiciando es, por un lado, la aparición de enemigos naturales de los nemátodos, y por otro, al favorecer la MO el mejor desarrollo y vigor de las plantas, éstas pueden resistir más al ataque de plagas y enfermedades.

En cuanto a la fuente de MO a aplicar al suelo, ella puede ser diversa, y ello depende de la disponibilidad existente en cada zona, así como de las condiciones climáticas. En la Costa Peruana las fuentes de MO que se usan mayormente son: el guano de islas; el estiércol de vacuno; la "gallinaza" o estiércol de gallina; así como abonos elaborados como el compost y últimamente el humus de lombriz. En la Sierra, las fuentes más abundantes de MO son: el estiércol de ovino, seguido por el de vacuno y caprino. En la Selva, el uso de Abonos Verdes, a base de leguminosas, constituye la principal fuente de MO asimismo son importantes los residuos de cosecha como la pulpa de café, paja de arroz, etc.

Alegre Orihuela (1977) trabajando en un suelo aluvial de textura franco arenosa en Costa Central, bajo condiciones de clima árido, por lo tanto de agricultura con riego, demostró las grandes ventajas de la aplicación de diversas fuentes de MO sobre la fertilidad física y química del suelo. Las fuentes usadas fueron: abonos verdes: *Crotalaria sp.* y Frijol Castilla; estiércol de vacuno (dosis alta, y baja), y compost a base de estiércol de vacuno y rastrojo de frijol (dosis alta, y baja). Las propiedades del suelo evaluadas fueron: agregación y estabilidad estructural, densidad aparente, porosidad, capacidad de retención al agua, y capacidad de intercambio catiónico. Todos los abonos orgánicos tuvieron un efecto notablemente mejorador de las propiedades físicas y químicas del suelo, destacando el efecto del compost en la dosis equivalente de aplicación (Tabla 1)

Tabla 1

Efecto de algunas enmiendas orgánicas sobre diversas propiedades físicas y químicas de un suelo aluvial en la Costa Central Peruana. Referencias > ver el texto. * Indice de inestabilidad estructural (Hénin *et al*, 1972).

Materias orgánicas aplicadas	TM.ha^{-1}de MO en materia seca	Dap. (gr.cm^{-3})	Porosidad TOTAL %	Agregados %	Is*	Hº Eq.	CIC (meq/100gr.)
Suelo testigo	-	1,8	33,3	5,5	3,1	15,1	10,1
Frijol Castilla (A.V.)	2,5	1,4	45,9	27,9	0,7	25,5	13,1
Crotalaria (A.V.)	2,7	1,3	49,6	31,9	0,6	26,4	13,6
Compost (dosis baja)	2,6	1,3	51,5	27,1	0,7	29,7	16,8
Compost (dosis alta)	5,2	0,7	73,1	40,8	0,4	37,4	22,3
Estiércol (dosis baja)	2,6	1,3	49,7	29,8	0,6	25,5	16,4
Estiércol (dosis alta)	5,2	1,0	62,7	37,5	0,49	34,0	23,9

Cabe señalar que, para las condiciones de costa, el incremento de la capacidad retentiva al agua, medida a través de la Humedad Equivalente (HE), así como de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), son propiedades fundamentales en la fertilidad de dichos suelos, los que se caracterizan por ser retentivos al agua y a los nutrientes.

En este mismo suelo, Chuquiruna Alarcón (1989) evaluó el efecto, además del estiércol de vacuno y del compost, de otros dos abonos orgánicos: la gallinaza y el bioabono líquido o "biol" (obtenido de un biodigestor tipo Chino), sobre la fertilidad del suelo y el rendimiento de un cultivo de papa cv. "Revolución". La aplicación de dichos abonos orgánicos al suelo se hizo sobre la base de un aporte equivalente de 360 $kg.ha^{-1}$ de Nitrógeno total. Esta cantidad, que podría parecer alta si se aplicara en forma de un fertilizante químico, no es tal cuando se aplica en forma de abono orgánico, ya que como se sabe, el Nitrógeno contenido en la MO no es liberado ni inmediata ni totalmente al suelo. Una parte del mismo (65%) se mineraliza en un tiempo relativamente corto, pero no todo es aprovechado por la planta, ya que también es usado por los microorganismos del suelo que participan en la descomposición de la MO. El resto (35%) es retenido durante el proceso de humificación y se libera lentamente en el suelo.

Una vez más, se comprobó el efecto mejorador de los abonos orgánicos, a excepción del Biol, sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Siendo éste un abono líquido carente de carbono, pero con contenido de nitrógeno soluble, así como de fósforo, potasio y micronutrientes, su efecto como enmienda del suelo es irrelevante, pero funciona muy bien como fertilizante orgánico.

Los rendimientos obtenidos fueron: 55; 53; 48; 43 y 33 $TM.ha^{-1}$ de papa, con la aplicación de Biol, compost, gallinaza, estiércol de vacuno y el suelo testigo respectivamente. Todos los tratamientos superaron al suelo testigo; siendo los mejores el Biol y el compost. El buen rendimiento presentado por el suelo testigo se debió al hecho de que este suelo estuvo sembrado antes con diversas leguminosas, las que aportaron Nitrógeno al suelo.

En otro experimento conducido en un suelo de textura arenosa afectado por nemátodos, ubicado en el valle de Pachacamac (Dpto. de Lima), Daza (1990) comparó el efecto de diversos abonos orgánicos sobre la fertilidad del suelo, en el control de nemátodos, así como en el rendimiento de un cultivo de vainita (*Phaseolus vulgaris*) var. "Bush Blue Lake". Los abonos orgánicos fueron: gallinaza, estiércol de vacuno, compost, humus de lombriz y melaza de caña. Ellos fueron comparados con tres tratamientos: fertilización química y melaza; fertilización química y aplicación de un nematicida químico, el Nemacur; y sólo fertilización química.

La cantidad de abonos orgánicos aplicados al suelo se realizó sobre la base de una dosis equivalente a 10 TM. ha^{-1} de MO. En el caso de la melaza, se aplicó diluido en agua (1:4) en una cantidad de 13,3 $lts.ha^{-1}$ de mezcla. En cuanto a los tratamientos químicos, dado el alto contenido de fósforo y potasio del suelo, sólo se aplicó Nitrógeno en una dosis de 70 $kg.ha^{-1}$ y en forma de urea, tal como acostumbre el agricultor de la zona. El nematicida empleado en el tratamiento correspondiente, fue el Nemacur, a razón de 50 kg. ha^{-1}.

Los resultados demostraron una vez más el efecto benéfico de los abonos orgánicos en las propiedades tanto físicas como químicas del suelo, siendo el estiércol de vacuno y la gallinaza los que mejor comportamiento presentaron. El control de nemátodos fue mejor con la aplicación de melaza y gallinaza.

En cuanto al efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de vainita, en orden decreciente fueron: urea + melaza > gallinaza > estiércol de vacuno > urea > urea + nematicida > compost > melaza > humus de lombriz, aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas entre los 5 primeros tratamientos.

4. Técnicas de manejo agroecológico del suelo para las zonas andinas

4.1. Labranza conservacionista

En los últimos años se viene difundiendo cada vez con mayor fuerza la labranza mínima e incluso la labranza "cero" del suelo. Esta práctica, conocida también como *labranza conservacionista,* parte del principio de que la excesiva mecanización del suelo ha traído a la larga más perjuicios que beneficios: compactación del suelo; mal drenaje; problemas de erosión; perturbación de la microfauna benéfica del suelo etc.

Curiosamente, en los países en dónde más se desarrolló la mecanización se viene dando con mayor fuerza la tendencia a la labranza mínima del suelo. Cabe señalar sin embargo, que los beneficios de esta práctica provienen principalmente del hecho de dejar los rastrojos de los cultivos en el campo (en forma de cubierta inerte o "mulch"), los cuáles al descomponerse van enriqueciendo al suelo de materia orgánica y mejoran las propiedades físicas y biológicas del suelo. La siembra del siguiente cultivo, en este caso, se realiza en forma directa, abriendo un surco entre el rastrojo dejado por el cultivo anterior.

En la agricultura andina tradicional, en cierta forma se practica este tipo de labranza conservacionista al roturar el suelo (después de un período de descanso con pastos), con una herramienta manual llamada la "chaqui taclla". La semilla, principalmente de papa, es colocada en el hoyo abierto con dicho arado, dejando en el terreno los restos de la pastura.

4.2. Uso de cobertura inerte o "mulch"

En la medida de lo posible el suelo no debe estar expuesto directamente a los rayos solares, ni a las lluvias ni al viento. Una forma de proteger al suelo es mediante una cobertura vegetal densa, principalmente herbácea; o, aplicando una cubierta inerte, principalmente a base de residuos vegetales, conocida en inglés como "mulching" o "mulch".

El uso de cubiertas vegetales vivas es aplicable a zonas climáticas húmedas, en donde no se da una competencia por el agua entre la cobertura vegetal y el cultivo principal. El uso

del "mulch" es recomendable principalmente para zonas climáticas sub - húmedas, semi áridas y áridas, bajo condiciones de riego, y en dónde el agua es el factor limitante. En este caso se puede utilizar como "mulch" los rastrojos del cultivo anterior o de las malezas.

Felipe-Morales *et al.*, (1995) determinaron el efecto del "mulch" en base a paja de arroz, en el rendimiento de un cultivo de vainita de verano en el valle de Pachacamac, (de clima árido, propio de La Costa Central), en relación con el mismo cultivo conducido sin "mulch". Se obtuvo, en todos los tratamientos de ensayo, un incremento notable en el rendimiento de vainita cuando el suelo era protegido con "mulch". Dichos rendimientos fueron superiores en un rango de 18 al 115% con relación a los tratamientos sin "mulch". El tratamiento que respondió mas al efecto del "mulch" fue el de una siembra anterior de Marigold (*Tagete erecta*), a fin de controlar el efecto de los nemátodos del suelo en el cultivo de vainita.

Se ha comprobado, por otro lado, que el "mulch" protege eficientemente al suelo de la erosión provocada por el agua o por el viento; disminuye asimismo las pérdidas de agua por evapotranspiración y controla el crecimiento de malezas. En zonas de riesgos de heladas el "mulch" constituye una práctica muy útil para atenuar el efecto de las bajas temperaturas.

A modo de ilustración, en la Tabla 2 se dan valores de pérdidas de agua por escorrentía y de suelo por erosión, comparando cultivos con y sin "mulch".

Tabla 2

Efecto del mulch en la escorrentía, erosión del suelo y rendimiento del cultivo, bajo condiciones de clima sub-húmedo (Localidad de Huancayo, Perú).

Fuente: Felipe-Morales (1994)

CULTIVOS	Tratamiento	Escorrentía (% de lluvia)	Erosión ($TM.ha^{-1}$)	Rendimiento ($TM.ha^{-1}$)
PAPA	Sin mulch	14,6 %	12,0	29
	Con mulch	5,7 %	1,9	36
MAIZ (choclo)	Sin mulch	23,0 %	20,0	4
	Con mulch	5,0 %	3,0	15

4.3. Rotaciones y asociaciones de cultivos

Las rotaciones de cultivos presentan diversos beneficios, y en el caso específico del suelo el efecto más importante radica en el mejor aprovechamiento de los nutrientes.

Al incluir en la rotación una leguminosa, el efecto beneficioso se incrementa, ya que se enriquece al suelo en Nitrógeno, a través de la simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico.

Las asociaciones de cultivos a su vez, permiten un mejor aprovechamiento del espacio, brindando al suelo una cobertura eficiente con todas las ventajas que ello trae consigo. Por otro lado, una adecuada asociación de cultivos puede constituir un excelente método de control biológico de plagas y enfermedades.

Ambas prácticas ofrecen un vasto campo de investigación, a fin de seleccionar, según las zonas climáticas, el tipo de suelo, y las exigencias del mercado, los cultivos que logren el máximo sinergismo dentro de las rotaciones, asociaciones, e incluso policultivos.

4.4. Medidas de conservación del suelo en la agricultura andina

Tanto la Región Andina, como la Selva Alta Amazónica, por sus condiciones topográficas y climáticas, están expuestas a procesos erosivos, que pueden afectar de manera severa a los suelos, si no se aplican medidas oportunas de control de la erosión.

La enorme cantidad de suelo y fragmentos de roca arrastrados por la escorrentía superficial concentrada, la cual discurre a gran velocidad en razón de las fuertes pendientes propias de esas vertientes, se manifiesta en las partes bajas en forma de grandes coladas de barro, conocidas localmente con el nombre de *huaycos*. Estas formas de remoción en masa son expresiones frecuentes de la intensa erosión a la que están sometidas dichas laderas. Los daños causados por ellas son cuantiosos, no sólo en pérdidas económicas, ya que afectan a los terrenos de cultivos bajo riego situados en las partes bajas, a las carreteras, vías férreas, etc., sino que ocasionan pérdidas de vidas humanas.

En los Andes Centrales Peruanos, si bien la intensidad de las lluvias alcanza valores potenciales de erosión relativamente moderados (40-70t.ha^{-1}.año) en relación con los Andes Ecuatorianos y Colombianos (que superan las 9t.ha^{-1}.año), su efecto, aunado a las fuertes pendientes y a la intensa explotación de sus suelos, se manifiesta en diversas formas de erosión: laminar intensa, cárcavas, derrumbes, deslizamientos, etc.

Esta situación es mucho más grave al afectar a poblaciones que tradicionalmente son las menos favorecidas por su medio ambiente, constituyendo el área demográfica más pobre del país.

Es corriente observar campos de cultivo en laderas con pendientes que sobrepasan el 50 % de inclinación. Esta situación es similar en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia.

En investigaciones realizadas sobre medida de la erosión en laderas con diferentes pendientes en la comunidad de San Pedro de Casta, ubicada en la Sierra occidental peruana se comprobó que la pérdida de suelo duplicaba su valor cuando la pendiente pasaba del 60% al 90%. Este dato experimental ratifica resultados más o menos similares hallados por Suárez de Castro & Rodríguez (1962) en Colombia, en donde se pone de manifiesto el efecto directo que tiene la inclinación del terreno en la erosión del suelo.

Se sabe que la vegetación juega un rol importante de regulación sobre la erosión del suelo. Cuando las plantas tienen un crecimiento próximo al suelo, y desarrollan un buen follaje, actúan como una excelente cubierta protectora del suelo contra la acción erosiva de las lluvias, atenuando además la escorrentía superficial e impidiendo que arrastre las partículas de suelo.

A modo de ejemplo se dan valores de escorrentía y erosión (Tabla 3) con diversos cultivos, en una ladera experimental con 25% de pendiente ubicada en la localidad de

Huancayo, Sierra central del Perú, con una precipitación promedio de 500 mm.año^{-1} (Felipe - Morales, 1987).

Tabla 3

Efecto de diversos cultivos en la escorrentia y erosión del suelo en la Sierra central del Perú.

Tipo de cultivo	Escorrentía superficial (en % de lluvia)	Erosión t/ha/año
Trigo	4	1,7
Avena	18	10,5
Papa	15	12,0
Maíz	23	20,0

Como puede observarse, los cultivos más erosivos son el maíz, seguido de la papa, sobre todo cuando son conducidos en sentido de la máxima pendiente del terreno. Ambos cultivos constituyen la base de la alimentación andina, y son muy extendidos en esta región, instalándose en laderas con pendientes que muchas veces exceden el 50%.

La tasa de erosión de los suelos en la región andina alcanza cifras verdaderamente alarmantes, que superan ampliamente los límites de tolerancia de pérdida de suelo. Así en Colombia, la tolerancia de pérdida de suelos para la región andina (pisos altitudinales montano y subalpino), oscila entre 6 a 12 TM.ha^{-1}.año. Sin embargo, sólo por efecto de las lluvias (factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo), la erosión calculada oscila entre 90-700 TM.ha^{-1}.año. Se estima así que el 75% del territorio colombiano está afectado por problemas de erosión en diversos grados.

En el Perú, el porcentaje de terrenos afectados por diversos grados de erosión en una gran parte de la región andina o Sierra, se observa en la Tabla 4.

Tabla 4

Superficie de suelos afectada por diversos grados de erosión hídrica en La Sierra Peruana.

Fuente : ONERN, 1986.

Intensidad de los procesos erosivos	Superficie de terrenos	
	Has	%
Muy ligera	1.842.000	5,0
Ligera	14.150.000	38,1
Ligera a moderada	9.522.000	25,7
Moderada	5.780.000	15,6
Moderada a severa	4.400.000	11,8
Severa	1.400.000	3,8
Total	37.094.000	100,0

Esta situación es tanto más preocupante si se tiene en cuenta que en la sierra peruana el porcentaje de tierras con potencial agrícola es de sólo 3,5% del total de tierras para esta región.

Se estima que el porcentaje de tierras agrícolas en la mayoría de países andinos (a excepción del Ecuador) es muy bajo, en relación con otros países sudamericanas. Dichos valores son: Perú: 2,7%; Bolivia: 3%; Colombia: 5,3% y Ecuador: 18,4% (Dourojeanni, 1982).

Entre las prácticas erosivas del suelo, las que comúnmente se observan en la región andina son las siguientes:

• Roza y quema indiscriminada de la vegetación natural, principalmente pastos nativos, ya sea para establecer cultivos temporalmente en dichos terrenos, o para "estimular" el rebrote de dichos pastos con fines ganaderos. Al respecto cabe señalar el estudio hecho por Flores *et al.*, (1972) sobre el efecto negativo de la quema de los pastizales andinos. En vez de favorecer el rebrote de los pastos de mejor calidad y palatables para el ganado, se estimula el desarrollo de los pastos menos deseables. Por otro lado, al dejar al suelo desprotegido de su cubierta general, cuando se inicia la estación de lluvias se producen fuertes escorrentías superficiales y erosión de dichos suelos, ubicados en laderas.
• La labranza en el sentido de la máxima pendiente constituye otra práctica muy común de la sierra andina. Las lluvias, al caer en el suelo, se concentran en los surcos y, dada la fuerte inclinación de ellos, el agua fluye con fuerza arrastrando el suelo fino, los abonos e incluso las semillas recién colocadas.
• Otra práctica usual en la región andina es la quema de rastrojos o residuos vegetales poscosecha. Es lamentable constatar cómo se pierden ingentes cantidades de materia orgánica mediante la quema de rastrojos, en vez de utilizarlos ya sea como cubierta inerte protectora del suelo o mulch. Otro uso de dichos rastrojos sería para la preparación de *compost,* el cual constituye, además de un abono orgánico, una excelente enmienda del suelo. Lamentablemente, muy pocos agricultores saben aprovechar convenientemente estos residuos vegetales.
• El sobrepastoreo con ganado introducido o exótico en la agricultura practicada por las antiguas poblaciones andinas. El ganado andino estaba constituido básicamente por camélidos sudamericanos: llamas, alpacas, vicuñas, guanacos. Estos animales tienen la cualidad de aprovechar convenientemente los pastos naturales, de tal modo que lo que unos no comen lo pueden usar los otros. Además, ellos tienen un pisar suave, no erosivo del suelo por donde transitan.

Contrariamente a ello, el ganado introducido por los españoles (vacas, ovejas, caballos, burros, cabras) tiene un hábito de consumo más exigente. Por otro lado, la conformación anatómica de la pata de dichos animales, con pezuñas cortantes, determina que el continuo transitar de ellos en el terreno provoque una compactación y deterioro del suelo. Esta forma de erosión se visualiza nítidamente en las laderas y se conoce como "sendero del ganado".

El efecto erosivo del ganado caprino en laderas, principalmente en la vertiente occidental andina, constituye el factor más importante de deterioro de dichos suelos.

Las corrientes de barro (conocidos como huaycos en el lenguaje folclórico), que frecuentemente asolan las partes bajas de dichas vertientes, son una expresión evidente del

deterioro causado por el sobrepastoreo caprino aunado a las condiciones climáticas propias de zonas semiáridas.

• La tala indiscriminada de los bosques con especies nativas, arbóreas y arbustivas, con fines de aprovechamiento de madera para construcción y otros usos, y de leña como combustible, es otra de las prácticas causantes de la erosión del suelo en la región andina. Estos bosques que antes protegían convenientemente las cabeceras de cuenca regulando el flujo de agua a las partes bajas, al ser eliminados determinan que la escorrentía proveniente de las lluvias fluya a gran velocidad, concentrándose en forma de torrentes erosivos hacia las partes bajas. Zonas que antes eran regadas con agua proveniente de manantiales o *puquios* alimentados por el agua de infiltración de dichos bosques ahora no cuentan con este recurso, agudizándose el problema de escasez de agua para los cultivos.

Como consecuencia de la acción erosiva de las prácticas mencionadas, el deterioro de los suelos es cada vez mayor. Ello trae consigo una reducción de la superficie agrícola, una escasez de agua, y, por ende, una disminución de las cosechas.

La vida en el campo se torna cada vez más dura y difícil; los jóvenes campesinos perciben que su futuro es incierto en el campo y optan por migrar a las grandes ciudades en busca de otras oportunidades de empleo, incrementando así la tasa de desocupación y presión social en las ciudades, con todas las consecuencias negativas que de esta situación se derivan.

Felizmente, existen algunas prácticas de conservación de suelos como el surcado en contorno y el "mulch" (o cubierta inerte del suelo) usando de preferencia los rastrojos de cultivos que no sólo controlan la erosión del suelo y favorecen la conservación del agua, si no además, incrementan el rendimiento de los cultivos.

A modo de ilustración, se dan algunos resultados experimentales (Felipe-Morales, 1981) obtenidos en la localidad de Santa Ana (Huancayo) a una altura de 3.200 m sobre el nivel del mar, en un terreno franco arcillo-gravilloso con una pendiente de 25 % y una precipitación anual para esa campaña agrícola (1976 - 1977) de 480mm de lluvia.

El cultivo instalado fue maíz para choclo (Tabla 5): Como se puede observar, cuando se aplica una práctica de conservación del suelo (tratamientos I y II), no sólo se favorece la mayor infiltración del agua en el suelo y se reduce la erosión sino que se puede duplicar y triplicar el rendimiento del cultivo.

Tabla 5

Efecto de algunas prácticas de conservación del suelo en la escorrentía, erosión y rendimiento de un cultivo de maíz- choclo en Santa Ana, Perú.

Tratamiento	Escorrentía (en % de lluvia)	Erosión (en TM.ha^{-1})	Rendimiento en Maíz/choclo (TM.ha^{-1})
I. Surcos en máxima pendiente	23 %	20,0	4
II. Surcos en contorno	8 %	5,6	10
III. Surcos con mulch	5 %	3,0	15

Otro caso digno de ilustración ocurrió en la localidad de San Ramón - Chanchamayo, ubicada en la Selva Alta Central, caracterizada por un clima tropical muy húmedo (ver Tabla 6). Como se puede observar, las mayores pérdidas de suelo ocurrieron en el suelo desnudo, sometido a quemas constantes, como es usual en la zona. La menor erosión por el contrario se presenta cuando el suelo está cubierto por un pasto de crecimiento denso como es la Centrosema (Trat. II). Por otro lado, cabe destacar la diferencia encontrada en la rotación Maíz-Frijol-Papa, con quema de rastrojos (trat. II) y la misma rotación con "mulch" y aradura mínima (Trat. IV). Mientras en el primer caso la erosión del suelo alcanza 119 TM.ha-1, en el segundo caso ella se reduce casi a la tercera parte, incrementándose ligeramente el rendimiento de los cultivos.

Tabla 6

Efecto de diversos tratamientos sobre la escorrentía, erosión del suelo y rendimiento de cultivos. Campaña agrícola 1976/77. Lluvia: 2.154 mm/año. Pendiente de terreno: 30% Fuente: Felipe-Morales *et al.*, (1978)

Tratamientos	Escorrentía (% de lluvia)	Erosión ($TM.ha^{-1}$)	Rendimiento ($TM.ha^{-1}$)				
			Maíz grano	Frijol grano	Papa	Pasto	Piña
I. Suelo desnudo	10,3	148,0	—	—	—	—	—
II. Rotación: Maíz - frijol - papa (con quema de rastrojos)	9,1	119,0	8,3	1,1	13,1	—	
III: Pasto *(Centrosema pubens)*	3,4	1,3	—	—	—	28	
IV. Rotación: Maíz - frijol - papa (con mulch y aradura mínima)	6,3	46,0	9,2	1,2	13,0	—	
V. Piña (en sentido de la pendiente)	10,6	72,0	—	—	—	—	16,3

El cultivo de piña (trat. V) conducido en sentido de la pendiente actúa como un cultivo erosivo; sin embargo, este mismo cultivo conducido en contorno puede actuar como una excelente barrera viva para el control de la erosión.

El Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y de Conservación de Suelos (PRONAMACHCS), en Perú, ha demostrado que la aplicación de obras de conservación del suelo no sólo es eficiente en el control de la erosión hídrica del suelo, sino que al conservarse mejor el agua en el suelo, ello favorece un mejor desarrollo de los cultivos y una mayor producción (Tabla 7)

Tabla 7

Efecto de obras de conservación del suelo en el rendimiento de cultivos en laderas de la Sierra Peruana.

* Sin usar fertilizantes. Fuente: PRONAMACHCS, Ministerio de Agricultura, Lima, Perú.

Obras de conservación del suelo	Cultivos	Rend. del testigo ($TM.ha^{-1}$)	Rend. del Tratamiento ($TM.ha^{-1}$)	Incremento del rend. en %
Surcos en contorno	Papa	11,872	14,846	25%
	Maíz	6,100	9,916	63%
	Lechuga	9,063	18,124	100%
Terrazas de absorción	Papa	7,533	10,343	37%
	Maíz	1,705	3,954	132%
	Olluco	3,378	4,078	21%
Andenes*	Papa	4,581	11,091	142%
	Trigo	723	1,113	54%
	Cebolla	5,500	8,644	57%

4.5. Agroforestería

El uso asociado del árbol y/o arbusto con los cultivos de corto período vegetativo, es una práctica agroecológica que ofrece múltiples beneficios.

Reynel & Felipe-Morales (1987), efectuaron un inventario de prácticas agroforestales que tradicionalmente los campesinos de la Sierra Peruana efectúan (Tabla 8, página 245). Dichas prácticas cumplían diversas funciones tales como: mejoramiento del microclima; disminución del riesgo de heladas; protección contra la erosión eólica; control de la erosión hídrica; incremento de la fertilidad natural del suelo; control biológico de plagas; aporte de leña, etc.

5. La racionalidad ecológica de las tecnologías pre-hispánicas en el manejo de los suelos en los Andes

En la Región Andina, existen aún evidencias de tecnologías de manejo ecológico del suelo desarrolladas en épocas pre-incas e incas.

El hombre andino, en el transcurso de más de veinte milenios, fue adquiriendo conciencia de las limitaciones ambientales y supo adaptarse a las condiciones ecológicas de su región. Ello naturalmente le implicó un esfuerzo muy grande, si se consideran las restricciones geográficas de los Andes.

Entre las numerosas evidencias de sistemas y adaptaciones que las poblaciones prehispánicas desarrollaron para hacer frente a estas limitaciones, cabe señalar (Brack, 1978):

• El desarrollo de tecnologías apropiadas para resolver la escasez de suelos con aptitud agrícola (andenes, pata - pata).

• Tecnologías para hacer frente al manejo del recurso hídrico, escaso en algunos casos, excesivo en otros (waru - waru, qochas, acueductos, reservorios, canales, etc.).

Tabla 8

Relación de prácticas agroforestales tradicionales en la Sierra Peruana.

FUNCION DE LA PRACTICA	PRACTICA AGROFORESTAL
I. Producción de madera	1. Cultivo mixto de especies forestales y agrícolas. 2. Rebrotes de cercos vivos para la obtención de varillas.
II. Protección de los cultivos y la Propiedad	3. Cercos vivos para cobijo de los cultivos 4. Cortinas rompevientos 5. Cortinas de vegetación contra las heladas. 6. Cercos de espinos.
III. Protección y Conservación del agua y del suelo en áreas agrícolas.	7. Barreras vivas con formación lenta de terrazas para uso agrícola. 8. Estabilización de cárcavas. 9. Estabilización de taludes para la protección de áreas agrícolas 10. Estabilización de riberas para la protección de áreas agrícolas 11. Bosquetes en las cabeceras de cuenca para la protección de áreas agrícolas
IV. Mejoramiento de la fertilidad del suelo	12. Follaje de especies forestales como fuente de abono directo. 13. Bosquetes para la producción de tierra compostada.
V. Estabilización de estructuras de interés agrícola	14. Canales y acequias estabilizadas con vegetación 15. Muros de andenes estabilizados con vegetación
VI. Almacenamiento y secado de la cosecha	1. Arboles en horqueta para almacenamiento y secado de la cosecha
VII. Producción de forraje y protección del ganado	2. Silvopasturas 3. Bosquetes de especies nativas con sotobosque como forraje. 4. Rebrotes de especies forestales como forraje. 5. Arboles para protección y cobijo de ganado.

• Invención de herramientas de labranza de gran eficiencia para el trabajo de suelos en laderas (chaquitacclla).
• Aprovechamiento de la diversidad ecológica mediante un control vertical de pisos ecológicos a través de una gran variedad de cultivos.

Entre las principales tecnologías andinas que caracterizaron a las culturas del antiguo Perú, y que aún subsisten para admiración de propios y extraños, cabe mencionar en primer lugar el sistema de andenerías o terrazas agrícolas, las cuales constituyen uno de los logros más importantes de la agricultura prehispánica en las tierras altas de los Andes.

Los andenes fueron construidos con mucho ingenio y enorme esfuerzo como un reto a la naturaleza, ya que ellos transformaron las faldas y laderas de los cerros en fértiles terrazas. De esta manera se aumentó la producción de los valles amplios y se hicieron productivos los valles estrechos y quebrados, al utilizar las laderas de los cerros para el cultivo.

Las ventajas de los andenes son muchas:
• Permiten ganar tierras de cultivo protegiéndolas de la erosión, provocada tanto por el

agua como por el viento.
• Permiten una mayor captación y conservación de las aguas de lluvia así como de las de riego, controlando a su vez el efecto erosivo que tienen cuando se cultiva en laderas.
• Protegen a los cultivos de las heladas.
• Permiten cultivar plantas de diversos pisos ecológicos.
• Constituyen una especie de laboratorios de campo para la aclimatación paulatina de plantas cultivadas.

En los andenes el relleno se hizo de dos formas diferentes (Ravines, 1978):
• Por sedimentación controlada por el muro de contención (práctica que también se conoce como "terraza de formación lenta").
• Por excavación, amontonamiento y acarreo de tierra de otros lugares. Este último método fue probablemente el más usual y, según refiere Garcilaso de la Vega, ello estaría en relación con el carácter de zona de agricultura cuando señala que las tierras del inca se encontraban de preferencia en los andenes.

Por otra parte, mediante estudios arqueológicos se ha llegado a constatar que en las terrazas (Ravines, 1978), o andenes superiores se cultivaron siempre especies vegetales menos exigentes en materias nutritivas, y que, además, enriquecían el suelo en nitrógeno (tal es el caso de las leguminosas). En las terrazas inferiores, por el contrario, se cultivaban plantas más extractivas como el maíz, papa, etc., las cuales aprovechaban los nutrientes acarreados de las partes altas. Esto permitió una explotación intensiva de los suelos sin las consecuencias de un empobrecimiento.

Si bien el uso más extensivo de los andes fue con fines de producción de alimentos, cabe señalar sin embargo la existencia de andenes con fines de "experimentación y control". En esta categoría se encuentran los espectaculares andenes circulares de Moray en el Dpto. del Cuzco, los cuáles vienen siendo estudiados por Earls (1986).

Se estima que en el Perú existe un millón de hectáreas de tierras con andenes. Para tener una idea de la magnitud relativa de esta cifra debe considerarse que el área total de tierra cultivada anualmente es de 2,6 millones de hectáreas.

Otras tecnologías orientadas al aprovechamiento de suelos en laderas, evitando su erosión, se basan en el uso apropiado de la vegetación leñosa (arbustiva y/o arbórea) asociada con los cultivos. Estas prácticas, conocidas actualmente como agroforestería, eran manejadas eficientemente por el antiguo poblador andino. Entre ellas cabe destacar la instalación de barreras vivas o pata - pata mediante el uso de plantas arbóreas y arbustivas de crecimiento denso y porte bajo (molle, q'euña, mutuy, huaranguay, chilca, chocho, etc.).

En relación al desarrollo de tecnologías orientadas al manejo adecuado del recurso hídrico, cabe destacar: los camellones o "waru-waru" y las "qochas".

Los camellones, conocidos también como "campos elevados" y en idioma quechua como "Waru-waru", son superficies cultivadas cuya altura se aumentó artificialmente.

Estos fueron construídos para mejorar el drenaje y para lograr modificaciones climáticas y microambientales tendientes a mejorar el suelo, el crecimiento de los cultivos y el control de la humedad del suelo.

Este tipo de sistemas se presentan en diversas regiones tropicales del continente americano, tanto en tierras bajas como en zonas de altura. Alcanzan su mayor frecuencia en zonas que sufren inundaciones temporales, por ejemplo en el Valle de México en dónde se conocen como "chinampas" (Jiménez & Gómez-Pompa, 1987). Se encuentran también en las sabanas tropicales de los Llanos de Mojos en Bolivia y en las pampas del altiplano del Lago Titicaca, en Perú y Bolivia. Smith *et al*., (1981) indican la existencia de aproximadamente 82.000has de camellones abandonados en el Departamento de Puno (Perú), la mayoría de ellos ubicados en las márgenes del lago Titicaca. Asimismo, en el altiplano boliviano determinaron la existencia de 3.952ha de camellones en abandono.

Con este sistema se pudo evitar el daño ocasionado por las inundaciones. Por otro lado, los períodos cortos de estiaje fueron resueltos con la acumulación de agua en los canales.

Las qochas vienen a ser depresiones en la superficie del suelo a modo de grandes hoyos en los que se acumula el agua de lluvia, y que sirven para el cultivo y el pastoreo. Ellas se presentan en el altiplano, por encima de los 3.800m. sobre el nivel del mar.

Flores-Ochoa & Paz Flores (1986), distinguen tres formas básicas de qochas:

- La muyu - qocha de forma circular.
- La suytu- qocha de forma rectangular con extremos en semicírculos.
- La chunta - qocha también de forma rectangular con los extremos irregulares.

El sistema agrícola de qocha se encuentra actualmente en pleno funcionamiento y producción. La población campesina indígena las sigue cultivando en forma intensiva.

El uso de herramientas agrícolas como la chaqui-taclla o arado de pie en terrenos de laderas con fuerte declive constituye una alternativa hasta hoy difícilmente superada por otras herramientas (arado con bueyes o el tractor).

El chaqui-taclla permite adaptar perfectamente el trabajo a las condiciones de suelo y de clima, optimizando la humedad del suelo y, al dejar terrones grandes, evita la pulverización y por consiguiente el riesgo de erosión en laderas (Lescano, 1978)

Se puede afirmar que el desarrollo logrado en los Andes en la época prehispánica fue un auténtico ecodesarrollo basado en el profundo respeto hacia la tierra y sus recursos, con tecnologías, usos y costumbres adecuadas al medio.

Para lograr este ecodesarrollo evidentemente se tuvo que contar con una sólida organización social basada en la tierra. Es así que el sistema social prehispánico estaba compuesto por un conjunto de cargos relacionados con el control y manejo de las zonas ecológicas a las que tenía acceso cada grupo social o "ayllu".

Actualmente, si bien todavía subsisten en pocas comunidades indígenas este tipo de organización, en la mayoría de casos éstas se han debilitado.

Alegre Orihuela JC (1977) Efecto de enmiendas orgánicas sobre la agregación y estabilidad de los agregado, porosidad, humedad equivalente y CIC de un suelo de Costa-La Molina.Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, UNALM, Lima, Perú, 74 pp.

Brack EA (1978) Ecología, recursos naturales y desarrollo en la Sierra del Perú Taller sobre desarrollo rural y uso cuidadoso de los recursos naturales en La Sierra del Perú. Resumen publicado por DSE en Lima, Perú.

Chuquiruna Alarcón S (1989) Efecto de diversos abonos orgánicos sobre el mejoramiento de las propiedades del suelo y el rendimiento de papa (cv Revolución). Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, UNALM, Lima, Perú, 116 pp.

Daza J (1990) Efecto de diversos abonos orgánicos en la fertilidad física y química de un suelo arenoso y en el rendimiento de un cultivo de vainita (var. Bush Blue Lake) en Pachacamac, Departamento de Lima. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, UNALM, Lima, Perú, 74 pp.

Dourojeanni M (1982) Recursos naturales y desarrollo en América Latina y el Caribe. Universidad de Lima, Perú.

Earls J (1986) Experimentación agrícola en el Perú precolombino y su factibilidad de reempleo. En Andenes y Camellones en el Perú Andino, CONCYTEC, Lima, Perú, pp. 301-331.

Felipe-Morales C, C Alegre & R Meyer (1978) Losses of water and soil under different cultivation systems in two peruvian locations: Santa Ana (Central Highlands) and San Ramon (Central High Jungle), 1975-76. En: Soil Physical Properties, pp. 489-499. Ed. John Wiley and sons, New York.

Felipe-Morales BC (1987) La erosión de los Andes en zonas pobladas de altura. Publicado en Pensamiento Iberoamericano N° 12: Medio ambiente, deterioro y recuperación, Madrid, pp 97-108.

Felipe-Morales BC (1994) Pérdida de agua, suelo y nutrientes bajo diversos sistemas de cultivo y prácticas de conservación del suelo, en zonas áridas, sub-húmedas y muy húmedas en el medas en el Perú. Publicado en SEPIA V: El Perú Agrario en debate, Arequipa, p. 637-656.

Felipe-Morales BC (1995) Manejo integrado y ecológico de un policultivo hortícola en condiciones de clima árido y cálido Informe de investigación para CLADES, Lima, Perú, 10 pp.

Flores A, O De Córdova & E Malpartida (1972) Efecto de quemas sobre pastizales naturales alto-andinos. En: Programa de Forrajes, Boletín Técnico N° 13, 19 pp., UNALM, Lima, Perú.

Flores Ochoa J & P Paz Flórez (1986) La agricultura en Lagunas (Qocha). En: Andenes y Camellones en el Perú Andino, CONCYTEC , Lima, Perú, pp. 85-107.

Henin S., Gras R. y Monnier (1972) El perfil Cultural. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España, 341 p.

Jiménez-Osornio J & A Gómez-Pompa (1987) Las Chinampas mexicanas. En: Pensamiento Iberoamericano N° 12: 201-214 , Madrid, España.

Lescano R J (1978) Tecnología agrícola tradicional en el Altiplano peruano. Instituto de Estudios Peruanos, Lima, Perú.

Primavesi A (1982) Manejo ecológico del suelo. 5ta edición Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 499 pp.

ONERN (1986) Perfil ambiental del Perú, 275 pp., Lima, Perú.

Ravines R (1978) Tecnología andina. Instituto de Estudios Peruanos, 1ra Edición, Lima, Perú. 821 p.

Reynel C & C Felipe-Morales (1987) Agroforestería tradicional en los Andes del Perú. Publ. Proyecto FAO/HOLANDA/INFOR, Lima, 154 pp.

Smith (1981) Antiguos campos de camellones en la región del Lago Titicaca. En: La tecnología en el mundo andino, A Soldi y H Lechtman (eds.), México.

Suárez de Castro F & G Rodríguez (1962) Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Federación de Cafetaleros, Colombia 473 p.

Principios de manejo de plagas en una agricultura sustentable.

Nancy M. Greco, Norma E. Sánchez y Patricia C. Pereyra

1. Principales causas ecológicas de la aparición de plagas

Las especies de artrópodos fitófagos presentes en un sistema agrícola, pueden desarrollar poblaciones abundantes y causar daños a las plantas disminuyendo su producción o deteriorando la calidad del producto con el consiguiente perjuicio económico y son, por lo tanto, consideradas plagas. Sin embargo, en los sistemas naturales muchas de estas especies no alcanzan una elevada abundancia poblacional y presentan una relativa estabilidad, entonces surge la pregunta: ¿por qué se convierten en plagas en los agroecosistemas? Existen dos principales hipótesis que tratan de explicarlo: la de la "concentración del recurso" y la del "enemigo natural" (Root, 1973). Ambas consideran a la mayor simplificación de los sistemas agrícolas, fundamentalmente los monocultivos, como la causa principal de la aparición de plagas desde el punto de vista ecológico. Los monocultivos ofrecen a los fitófagos un recurso abundante y altamente concentrado. En ellos las plantas emergen, crecen y maduran al mismo tiempo, por lo tanto los herbívoros encuentran una elevada cantidad de recurso alimenticio y una alta proporción de plantas disponibles en el estado fenológico adecuado. Además, algunas prácticas como el uso de fertilizantes, plaguicidas, irrigación y uso de variedades genéticamente homogéneas favorecen su desarrollo. En relación con la segunda hipótesis, la simplificación del hábitat lleva a una menor riqueza de especies y abundancia de enemigos naturales (EN). Muchos de ellos son polífagos, tienen requerimientos más amplios de hábitat y los monocultivos pueden no proveerlos de fuentes alternativas de alimentación adecuada (polen, néctar, otras presas), refugio y sitios de oviposición.

La aparición de plagas, al igual que otros problemas que enfrenta la agricultura, es causada por la creación de condiciones ambientales que propician su desarrollo y aumentan la vulnerabilidad de los agroecosistemas; por lo tanto la modificación de algunas prácticas y/o la implementación de otras contribuirá a disminuir su efecto negativo sobre la producción.

2. Densidad poblacional y nivel de daño económico

En general, los fitófagos son visualizados por el productor agropecuario como sus competidores debido a que ambos utilizan el mismo recurso (el cultivo) y por su mera presencia se los considera plagas. Sin embargo, más racionalmente, una especie debería considerarse plaga cuando su densidad poblacional exceda algún nivel inaceptable causando un daño económico (nivel de daño económico: NDE).

Un modelo que permite calcularlo (Norton & Mumford, 1993) indica que la base económica para tomar una decisión de control es la siguiente: una medida de control debe ser aplicada, cuando el daño producido por una determinada densidad de la plaga es tal que el beneficio resultante de aplicarla es mayor que el costo de la misma. El beneficio puede ser expresado como:

$$\text{Beneficio de control} = \theta PDK$$

Donde θ: número de individuos de la plaga por planta; P: precio de la producción ($/Tn); D: reducción en el precio por cada individuo de la plaga; K: reducción de la plaga mediante el control.

El NDE, sería entonces la densidad de la plaga a la cual el beneficio de una medida de control determinada iguala al costo (C), expresado en $ por hectárea. Por lo tanto:

$$\theta PDK = C$$

y el NDE queda expresado por:

$$\theta = C / (PDK)$$

Esta ecuación es válida para las situaciones en las que hay una relación lineal entre la densidad de la plaga y el daño producido. Para aquellos casos en los que esta relación no es lineal sino que existe una densidad determinada a partir de la cual se expresa el daño, es necesario considerar este valor de densidad en el cálculo del NDE:

$$\theta = NDE = T + (C / (PDK))$$

Donde T: densidad de la plaga por debajo de la cual no se producen pérdidas de rendimiento.

Cuando la plaga tiene una alta velocidad de crecimiento y/o las medidas de control a utilizar no son de acción inmediata es necesario determinar una densidad previa a la cual deberán ser aplicadas las técnicas de control para prevenir el daño. A esta densidad se la denomina umbral económico (UE) (Figura 1).

Una elevada densidad del herbívoro no siempre produce daño económico. En el caso de los defoliadores muchas veces la planta, según el estado fenológico en que ocurre el ataque, puede llegar a compensar la biomasa vegetal consumida y el rendimiento final no verse afectado. Sin embargo, si la parte atacada es la flor o el fruto bajas densidades de la plaga pueden significar un daño en la producción. En particular, puede seña-

larse la situación en la cual el consumidor le otorga un elevado valor estético al producto, determinando NDE muy bajos.

Los valores de NDE son específicos para cada plaga y para cada cultivo dependiendo de múltiples factores: el estado fenológico del cultivo, las condiciones climáticas, la localidad geográfica, las prácticas agronómicas (variedad de cultivo, irrigación, fertilizantes, etc.), las condiciones del mercado, el costo del control y las preferencias del consumidor. Asimismo el UE variará, además, en función de las diferentes medidas de control. Esto indica que ambos valores no son estáticos sino que pueden variar de año en año e incluso dentro de un mismo año a lo largo del ciclo del cultivo (Figura 2). El modelo presentado anteriormente permite calcular valores de NDE estáticos. Sin embargo, sus estimaciones requieren del conocimiento de todas las variables mencionadas, muchas de las cuales a su vez pueden interactuar, y por lo tanto un cálculo más apropiado requerirá modelos más complejos. Si bien los valores de NDE y UE pueden tener errores de precisión que aumenten en alguna medida el riesgo para los productores, su estimación es de suma importancia en los programas de manejo. En el caso del control químico, su conocimiento permite reducir el número de aplicaciones, en relación con las que se realizan por calendario, con el consiguiente beneficio ambiental y económico.

En la Argentina no se utilizan en la actualidad NDE ni UE dinámicos, aunque existen para algunas plagas estimaciones aproximadas y estáticas que suelen ser tenidas en cuenta por productores o técnicos.

Figura 1

Nivel de daño económico (NDE) y umbral económico (UE). N: densidad de la plaga, t: tiempo. Tomado de Horn (1988).

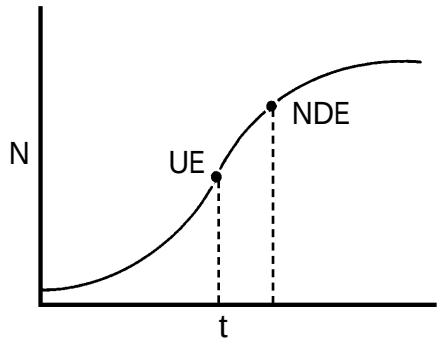
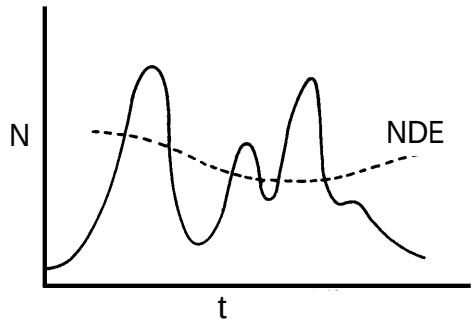


Figura 2

Nivel de daño económico (NDE) dinámico. N: densidad de la plaga, t: tiempo. Tomado de Horn (1988).



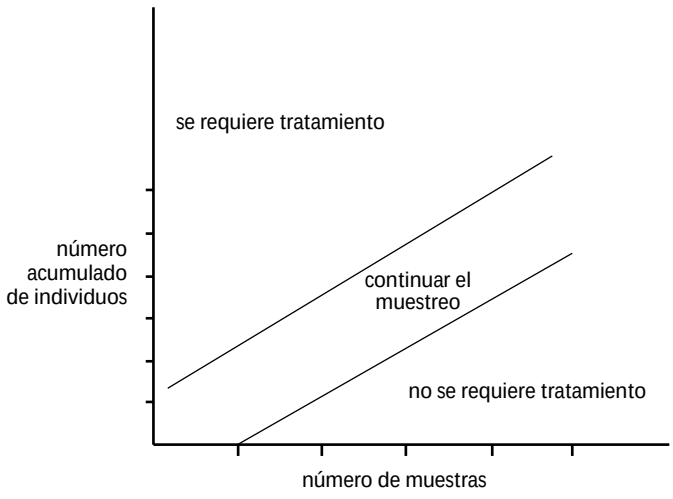
Los NDE pueden integrarse a planes de muestreo. Estos planes, denominados muestreos secuenciales, constituyen una herramienta muy valiosa para la toma de decisiones de

control porque permiten optimizar el esfuerzo de muestreo para determinar, con la precisión adecuada, si la densidad de la plaga ha alcanzado el NDE. A partir de información acerca de la disposición espacial de la plaga y el NDE, mediante el empleo de ecuaciones matemáticas, se construye un gráfico (Figura 3) o una tabla, que relaciona el número de muestras tomadas con el número acumulado de individuos de la plaga. Este gráfico posee un límite inferior y un límite superior que guían la decisión a tomar. El muestreo comienza, por ejemplo, con cinco muestras de las cuales se obtiene un promedio de densidad y los límites indican si es necesario tomar una medida de control, no realizar ninguna acción o continuar tomando muestras hasta obtener información al respecto. Estos planes han sido desarrollados y se utilizan para varias plagas principalmente en Estados Unidos, (Ingram & Green, 1972; Naranjo & Flint, 1994; Overholt *et al.*, 1990; Sylvester & Cox, 1961). Muy pocos planes de muestreo secuencial han sido desarrollados en Argentina (Garat *et al.*, 1999; Greco, 1995) y en algunos casos deben ser ajustados a NDE dinámicos que permitan su utilización, la cual es prácticamente nula en la actualidad.

Aún cuando no se posean valores precisos de NDE, es muy importante realizar muestreos frecuentes y estimar la densidad de la plaga para compararla con un NDE aproximado antes de tomar una medida de control, pudiendo de este modo disminuir costos económicos y evitar, en el caso del control químico, aplicaciones innecesarias. En relación con cada plaga y cada cultivo en particular deben diseñarse planes de muestreo específicos que indiquen cuántas muestras deben tomarse, y de qué manera, a fin de conocer la abundancia con un nivel de precisión adecuado. En la Argentina existe poca información al respecto (Greco, 1995; Luna & Greco, 1998; Trumper & Gyenge, 1998) y el monitoreo periódico no es una técnica utilizada mayoritariamente.

Figura 3

Límites inferior y superior que guían la decisión a tomar en el muestreo secuencial.

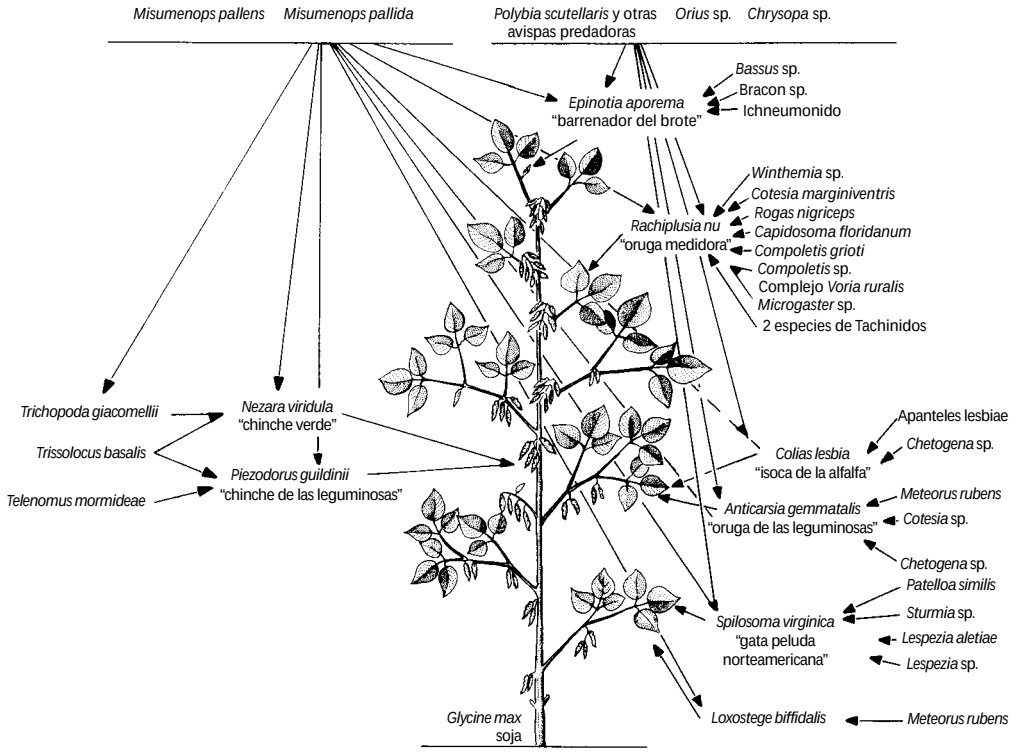


3. Dinámica poblacional e interacciones tróficas

Frente al problema de las plagas el hombre tiende en general, a considerar al sistema agrícola compuesto, fundamentalmente, por la especie de cultivo y la o las plagas que la atacan. Sin embargo, y a pesar de la simplificación de los agroecosistemas en lo que hace a riqueza de especies y diversidad, el cultivo y sus plagas forman parte de una trama trófica en la cual se encuentran otras especies del mismo y de otros niveles tróficos. La presencia y abundancia de las distintas especies en un ecosistema dependen, junto con las características climáticas y otros componentes abióticos, de las interacciones entre las distintas especies (las plantas, sus herbívoros, los predadores y parasitoides de los herbívoros, etc.). De este modo, las plagas están situadas por encima de su propio recurso, las plantas, y por debajo de sus EN, constituyendo el recurso de los mismos. La Figura 4 ejemplifica este concepto mostrando una trama trófica parcial que fue construida por el grupo de Ecología de Plagas del CEPAVE (Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores, CONICET-UNLP, Argentina) sobre la base de varios años de muestreos continuados en el cultivo de soja del noroeste de la Provincia de Buenos Aires, donde puede observarse un número apreciable de especies en distintos niveles tróficos.

Figura 4

Trama trófica parcial del cultivo de soja del noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.



El conocimiento de la dinámica poblacional implica el análisis de los factores que producen cambios poblacionales y de las interacciones que se producen entre los distintos niveles tróficos, siendo de fundamental importancia en el manejo de plagas.

Las poblaciones ecológicas son sistemas dinámicos en los cuales la densidad y la distribución de edades, cambian con el tiempo o fluctúan. Las fluctuaciones poblacionales pueden ocurrir por factores abióticos o por la interacción de la población con su recurso alimentario (mecanismos *bottom-up*) y con sus EN (mecanismos *top-down*) (Harrison & Capuccino, 1995). Los factores abióticos (principalmente climáticos) son esencialmente densoindependientes, es decir que su efecto negativo sobre la población ocurre de forma independiente de la densidad de la plaga. La competencia intraespecífica, la predación y la interacción con el alimento, en cambio, son procesos que pueden actuar de manera densodependiente, siendo su efecto más severo al aumentar la densidad de la plaga. Los mismos tienden a regular la población haciendo que ésta retorne a su densidad de equilibrio luego de alguna perturbación, es decir que estabilizan a la población alrededor de un nivel medio de densidad (Turchin, 1995). Actualmente se acepta que la presencia de mecanismos densodependientes es una condición necesaria, aunque no suficiente para la existencia de regulación (Dennis & Taper, 1994; Wolda, 1989).

Es importante aclarar que: (1) sólo algunas poblaciones de herbívoros están reguladas, (2) una población plaga puede estar regulada pero su abundancia no estar controlada en valores inferiores al nivel de daño económico establecido, (3) algunas plagas pueden estar controladas sin necesidad de que existan procesos de regulación poblacional.

La regulación de una población plaga, por ejemplo por un EN, si bien no es imprescindible para su control, es una característica deseable para el manejo, pues implica que la plaga va a tener mayor estabilidad, es decir que habrá menos probabilidades de explosiones poblacionales, y que la interacción entre la plaga y el EN va a ser más persistente.

Todas las técnicas que se utilicen para controlar a las plagas deberían estar respaldadas por el conocimiento de los procesos fundamentales que determinan su dinámica poblacional dentro de la trama trófica que las incluye, para poder predecir globalmente su efecto dentro del sistema y evaluar su sustentabilidad.

4. Manejo integrado de plagas (MIP)

En 1975, un panel de expertos de la FAO definió al MIP como un sistema de manejo que, en el contexto de la dinámica poblacional de las plagas y el ambiente asociado, utiliza todas las técnicas y métodos disponibles que son compatibles entre sí, para mantener a las poblaciones de las plagas en niveles que no causen daño económico. Si bien esta definición es ampliamente aceptada en la actualidad, otra más general y completa considera al MIP como un sistema para la selección y uso de técnicas de control, individuales o armoniosamente combinadas en estrategias de manejo, basado en el aná-

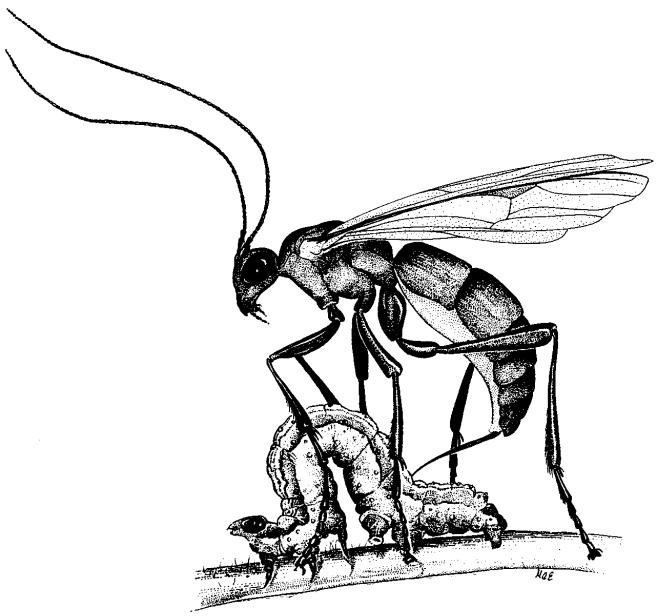
lisis de costo/beneficio teniendo en cuenta los intereses de los productores, la sociedad y el ambiente, así como el impacto sobre los mismos (Kogan, 1998).

Entre las técnicas de control más comúnmente usadas podemos mencionar el control biológico, la utilización de variedades resistentes, las prácticas culturales y el uso de plaguicidas químicos. A continuación describiremos las características más relevantes de cada una de ellas y los aspectos ecológicos involucrados.

4.1. Control biológico

El control biológico por EN, parasitoides (Figura 5) y predadores (Figura 6) y por patógenos (hongos, virus, bacterias, protozoos, nematodes) consiste en su utilización para reducir las poblaciones de una plaga a densidades por debajo de los niveles de daño económico. El éxito del control biológico depende en gran medida del conocimiento de la biología de las especies intervinientes, de su interacción y, algunas veces, de la acción complementaria de varios EN que atacan diferentes estados de desarrollo de la plaga o actúan en diferentes momentos.

Figura 5



Representación de un microhimenóptero parasitando una larva de lepidóptero (con fines ilustrativos se ha exagerado el tama;o del parasitoide). Dibujado por María Cristina Esivariz

4.1.1. Características de los EN

Varias características han sido tradicionalmente consideradas importantes para que un EN, principalmente los predadores y parasitoides, resulte efectivo. Entre ellas mere-

cen destacarse una elevada capacidad de búsqueda y tasa de ataque, y una alta tasa de crecimiento poblacional.

Otra característica deseable es la especificidad, ya que en el caso de EN introducidos, si son específicos, no producen un efecto negativo sobre otros organismos presentes en el sistema. En general, los EN que poseen especificidad manifiestan densodependencia con respecto a su presa, que como hemos visto puede contribuir a la regulación de la población de la plaga, así como a la estabilidad y persistencia de la interacción plaga-EN. Sin embargo, en la actualidad, existen evidencias de que los EN no específicos (polífagos) serían también eficientes y las plagas serían menos susceptibles a desarrollar resistencia a ellos.

Asimismo, la persistencia de la interacción entre la plaga y sus EN es una característica importante. Los sistemas predador-presa suelen presentar ciclos en los cuales la densidad del predador va creciendo a medida que crece la densidad de su presa, pero su acción hace que la presa disminuya y por ende, al haber menos presa, la densidad del predador comienza a decrecer. Algunos predadores eliminan totalmente la población de su presa y luego se extinguen, siendo la interacción entre ambos muy poco persistente. La persistencia implica que el enemigo no agote totalmente su recurso y permanezca interactuando con la plaga aún cuando ésta ha sido controlada y se encuentra en niveles bajos de densidad. Por ejemplo, si una pequeña fracción de la población de la plaga escapa a la acción del enemigo, o si éste se alimenta de recursos alternativos cuando la plaga es muy escasa, la interacción continuará ya que la densidad de la plaga comenzará a crecer nuevamente y se originará otro ciclo.

Otro aspecto importante es la sincronía, es decir que el EN desarrolle su ciclo de vida y se encuentre activo en el sistema al mismo tiempo que la plaga.

4.1.2. Liberación de EN

Existen dos formas de liberar los EN al sistema de cultivo: inoculativa e inundativa. En la inoculación se liberan cantidades relativamente pequeñas de individuos para que se establezcan y las poblaciones comiencen a crecer. Esta técnica es ampliamente usada con diversos parasitoides y predadores, por ejemplo con ácaros de la familia Phytoseiidae para el control de ácaros fitófagos. La inundación consiste, en cambio, en liberar una gran cantidad de individuos, con el propósito de lograr un control inmediato, por lo tanto esta técnica resulta a veces análoga a la aplicación de un insecticida químico. Varias especies del género *Trichogramma,* avispas parasitoides de huevos de lepidópteros, se comercializan para ser utilizadas en grandes extensiones de diferentes cultivos fundamentalmente en EEUU, Méjico y China (DeBach & Rosen, 1991). No obstante, el método inundativo emplea generalmente patógenos, tales como el protozoo *Nosema locustae* para el control de langostas y tucuras en China y Estados Unidos. Si bien la Argentina fue uno de los países pioneros en su utilización, introduciéndolo experimentalmente en distintas zonas en 1978 y 1982, debido a la falta de seguimiento de su

presencia y abundancia no se han podido extraer conclusiones acerca de su eficacia. Sin embargo, 10 años después de su introducción, el establecimiento de este patógeno fue detectado en algunas zonas pampeanas y norpatagónicas (Lange & de Wysiecki, 1999; Lange, 1999). Otro patógeno es la bacteria *Bacillus thuringiensis,* cuyo uso ha sido ampliamente difundido en especial para el control de lepidópteros y dípteros. En relación con los hongos entomopatógenos, existen en el mercado mundial formulaciones para varias plagas y en nuestro país se han seleccionado cepas altamente efectivas para el taladrador del tallo, *Diatraea saccharalis* (Fab) y la chinche verde *Nezara viridula* L, aunque aún no se ha implementado su uso. Por otra parte, existen en forma comercial virus para el control de *Cydia pomonella* (L.) en Europa y para la oruga de las leguminosas *Anticarsia gemmatalis* (Hbn.) y la oruga militar *Spodoptera frugiperda* (Smith) en Brasil.

4.1.3. Formas de utilización de los EN

Los EN pueden utilizarse en tres formas: *(1)* importación de especies exóticas y su establecimiento en el nuevo hábitat, *(2)* aumento del número de individuos de especies ya establecidas y *(3)* conservación de especies establecidas (DeBach & Rosen, 1991).

(1) El enemigo introducido puede utilizarse para controlar plagas exóticas, por lo tanto proviene de la misma área geográfica que éstas, o para controlar plagas nativas. En el primer caso se denomina control biológico clásico, y en el segundo control biológico neoclásico (Hokkanen & Pimentel, 1989). Los orígenes del control biológico clásico se remontan a 1887 en Estados Unidos, con la importación desde Australia de un predador de la cochinilla acanalada de los cítricos *Icerya purchasi* Maskell. El auge alcanzado durante las primeras décadas del siglo veinte, disminuyó notablemente a partir del desarrollo de los plaguicidas de síntesis y de los escasos conocimientos científicos existentes para aplicarlo con éxito en situaciones variadas. Luego, aproximadamente desde 1970, el cuestionamiento al uso de los plaguicidas organoclorados y organofosforados sumado al mayor desarrollo de estudios ecológicos con relación al control de plagas, dieron nuevo énfasis al control biológico. La importación de EN es la forma de control biológico más desarrollada y más respaldada científicamente y existen numerosos ejemplos de su utilización exitosa y también de sus fracasos. Este tipo de control biológico, es utilizado en diversos países de América Latina aunque su participación en la agricultura comercial es baja con relación a países desarrollados. Del mismo modo, el número de casos exitosos es relativamente bajo, en gran medida debido a la implementación de programas que han sido desarrollados en otras regiones (Trujillo Arriaga, 1992).

Tanto en el control biológico clásico como en el neoclásico, es muy importante considerar cuál será la inserción ecológica, del EN introducido, en el nuevo sistema y explorar los nichos que se encuentran disponibles para su establecimiento. Diferentes especies que utilizan el recurso del mismo modo conforman un gremio, así por ejemplo las especies parasitoides que ingresan a su huésped cuando se encuentra en el estado de huevo y emergen cuando alcanzó el estado de pupa, integran un mismo gremio, diferente del que integran los parasitoides que ingresan en las larvas y emergen en las pupas del huésped. La determinación de

cuántas y cuáles especies componen los distintos gremios permite conocer la magnitud de la competencia y por consiguiente evaluar las posibilidades que tendrá un enemigo introducido de establecerse en el sistema. Por otra parte, la especie introducida puede competir con otros EN nativos de la plaga en cuestión o de otras plagas presentes o potenciales, o atacar además a otros fitófagos que no son plaga y que pueden ser esenciales en varios procesos ecológicos del sistema agrícola. Dada la complejidad de las comunidades de las cuales forman parte las plagas y sus enemigos, resulta generalmente difícil predecir las consecuencias que tendrá, a este nivel de organización ecológica, la instalación de un nuevo agente de control.

Recientemente, han comenzado a analizarse y cuestionarse las consecuencias negativas indirectas de los programas de control biológico por importación de EN (Cory & Myers, 2000; Howarth, 1991; Lockwood, 1993; Louda *et al.*, 1997). En tal sentido, uno de los ejemplos clásicos más exitosos de control biológico, la mariposa *Cactoblastis cactorum* (Bergroth), nativa de Sudamérica e introducida en Australia a principios del siglo pasado para el control del cactus *Opuntia,* está mostrando efectos negativos indirectos al haberse introducido accidentalmente en el sudeste de Estados Unidos y comenzar a atacar especies nativas de cactus, incluyendo algunas especies extremadamente raras. Si su dispersión continúa hacia el sudoeste de este país y Méjico, la producción comercial de cactus nativos se vería en peligro (Cory & Myers, 2000).

(2) El aumento de EN consiste en liberaciones periódicas de individuos criados en el laboratorio, a fin de incrementar la población presente y por ende la mortalidad producida sobre la plaga. En muchos cultivos si bien el EN se instala espontáneamente, lo hace con un cierto retraso que le permite a la plaga incrementar sus poblaciones y escapar a su acción. En estos casos una liberación de individuos, previa a su aparición espontánea, permite aumentar su efectividad.

(3) El control biológico por conservación implica la manipulación del ambiente para favorecer la supervivencia, la fecundidad, la longevidad y el comportamiento de los EN, y así incrementar su efectividad (Landis *et al.*, 2000). La manipulación del ambiente tiende a mejorar la disponibilidad de fuentes alternativas de alimento para los EN (tales como néctar y polen), proveer un microclima favorable para su desarrollo, brindar refugios para condiciones ambientales extremas o pesticidas y propiciar la presencia de presas u hospedadores alternativos. Si bien existen referencias sobre este tema desde la segunda mitad del siglo pasado, la mayor cantidad de estudios experimentales se ha realizado a partir de 1990 y recientemente Landis *et al.* (2000) han realizado una amplia revisión al respecto.

Un ejemplo del manejo del microclima en la manipulación del ambiente, lo constituye el uso de *Lolium multiflorum* Lambert en parcelas de maíz en EEUU, para reducir la temperatura superficial del suelo incrementando la supervivencia del parasitoide *Trichogramma brassicae* Bezdenco (Orr *et al.*, 1997).

El aumento de diversidad en los sistemas agrícolas, constituye la principal manipulación del ambiente tendiente a mitigar los frecuentes disturbios (pesticidas, falta de alimento para los adultos y falta de hospedadores alternativos) que ocurren en los monocultivos y que

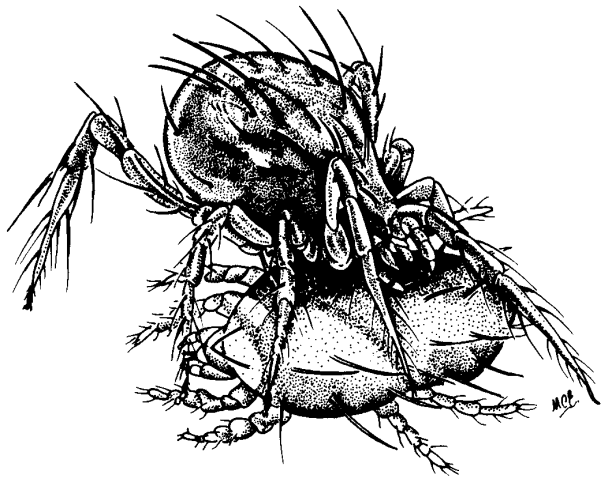
limitan la efectividad de los EN. Numerosos estudios indican las ventajas de incorporar otras plantas al sistema de cultivo (Landis *et al.*, 2000). Por ejemplo, la implementación de bordes de *Phacelia tanacetifolia* Bentham, una planta anual que produce grandes cantidades de polen y néctar, en cultivos de *Brassica oleracea* L., incrementa la densidad de sírfidos y las poblaciones de áfidos disminuyen. Otros estudios han focalizado el manejo del hábitat en el uso de plantas existentes en el sistema, como es el caso de la conservación del ácaro predador *Amblyseius victoriensis* (Wonersley), un EN de otro ácaro que es fitófago de naranjos, el cual fue favorecido en las plantaciones donde se permitió el establecimiento y floración de la maleza *Choris gayana* Kunth (Smith & Papacek, 1991). En otro capítulo de este libro, Nicholls (2000), ha demostrado que el uso de corredores de elevada diversidad vegetal (perteneciente a un bosque cercano) en viñedos del norte de California, y la utilización de cultivos de cobertura, favorecen el control biológico de cicadélidos y trips.

Es importante destacar que el aumento de la diversidad de por sí, puede no ser una solución al problema de las plagas e incluso algunas veces exacerbarlo. Es preciso identificar cuáles son las características de la diversidad que serán útiles en cada sistema en particular, teniendo en cuenta la biología y el comportamiento de las plagas y sus EN, así como algunos aspectos agronómicos de las especies vegetales que se incorporan para aumentar la diversidad (prácticas culturales, posibilidades de mercado, rendimiento global, etc.).

La conservación de EN contribuye a que éstos no constituyan un insumo que deba ser incorporado al sistema en forma muy frecuente y merece, por lo tanto, una consideración especial cuando se desea utilizar el control biológico en un marco de sustentabilidad. Esta forma de utilización de los EN podría complementarse con otras. La manipulación del ambiente podría sumarse, por ejemplo, al uso del control biológico clásico, neoclásico o al aumento de EN para maximizar la persistencia y el impacto de los agentes de control sobre las plagas, de modo de sinergizar los efectos de diferentes técnicas en el MIP.

Figura 6

Acaro predando sobre una arañuela roja (dibujado por María Cristina Estivariz).



4.2. Variedades resistentes

Desde el punto de vista ecológico, el empleo de variedades resistentes se basa en la interacción de las plagas con el nivel trófico inferior, es decir las plantas (interacción planta-herbívoro).

4.2.1. Obtenidas por métodos clásicos de mejoramiento

Consiste en la utilización de variedades de cultivo que son menos atacadas por una plaga o que producen un rendimiento aceptable a pesar de sufrir daño. La obtención de estas variedades se realiza tradicionalmente mediante cruzamientos y métodos de selección artificial.

La resistencia de las plantas a los artrópodos puede clasificarse en no-preferencia, antibiosis y tolerancia (Painter, 1958). La no-preferencia se refiere a los casos en que los insectos no se alimentan ni depositan sus huevos sobre la planta resistente, sino que lo hacen sobre otras variedades o especies más favorables. La antibiosis es la presencia de características físicas o químicas en la planta resistente, que ejercen un efecto negativo sobre la supervivencia o la fecundidad de los insectos. La tolerancia, por último, es la habilidad de la planta para compensar el daño y no disminuir el rendimiento. En nuestro país, por ejemplo, se han obtenido variedades de avena tolerantes al pulgón verde de los cereales, *Schizaphis graminum* (Rond), y una de ellas (Avena blanca Boyera F.A.) se está cultivando actualmente (Chidichimo *et al.*, 1994).

El desarrollo y utilización de plantas resistentes enfrenta algunos inconvenientes. Uno de ellos es que resulta muy dificultoso obtener variedades resistentes para más de una plaga y algunas veces una variedad resistente para una especie puede ser susceptible para otras y propiciar el desarrollo o la aparición de una nueva plaga. Otro inconveniente está dado por la elevada presión de selección que ejerce esta técnica sobre la población de la plaga, lo cual conduce a un aumento de la frecuencia de los genotipos que logran sobrevivir y reproducirse, con la consiguiente adaptación a la variedad resistente y por lo tanto la pérdida de resistencia.

Las plantas hospedadoras de los artrópodos herbívoros pueden afectar directa o indirectamente a sus EN a través de interacciones multitróficas. Algunas sustancias químicas volátiles de las plantas hospedadoras pueden atraer o repeler a los EN de ciertas plagas, así como algunas características físicas como la pubescencia pueden reducir la eficiencia de búsqueda de los predadores y/o parasitoides. El efecto de la pubescencia de las hojas de maíz sobre una de sus plagas, el taladrador del tallo, y su principal EN constituye un ejemplo de este tipo de interacciones. La pilosidad afecta negativamente la oviposición del taladrador del tallo, *D. saccharalis* Fab, que es una plaga del maíz y de la caña de azúcar, y se observó que los cultivares pubescentes de caña de azúcar son menos dañados por esta plaga (Sosa, 1985). Sin embargo, se encontró que una elevada pubescencia en las hojas de maíz no causa una disminución en la tasa de oviposición debido a que la

hembra deposita una mayor proporción de huevos en el envés de las hojas, que carece de pelos, por lo tanto en el maíz, la pubescencia no contribuiría a reducir el daño. A su vez, su principal EN, el parasitoide *Trichogramma exiguum* Pinto, Platner y Oatman prefiere parasitar sobre superficies con escasa o nula pilosidad, presentando mayores porcentajes de parasitismo sobre cultivares de maíz poco pilosos (Greco *et.al.*, 1998). Este conocimiento indica que los cultivares de maíz muy pubescentes no son recomendables para el control de *D. saccharalis,* ya que no lograrían disminuir las poblaciones de esta plaga y dificultarían la acción de uno de sus principales EN.

La combinación de variedades resistentes y control biológico puede resultar muy beneficiosa si ambas técnicas son compatibles. Se ha demostrado, por ejemplo, que la combinación de pelos pegajosos en hojas de papa y EN, es más efectiva para reducir una población de áfidos que ambos factores por separado (Obrycki *et al.*, 1983). Por el contrario, se han observado relaciones antagónicas donde la acción del EN fue menos efectiva o incluso nula cuando se usaron genotipos de plantas resistentes (Kenmore *et al.*, 1984; van Emden, 1986).

Por otra parte, la comprensión de estos efectos multitróficos brindan la oportunidad de incorporar a las plantas de cultivo características que aumenten la efectividad de los EN. Algunos autores sostienen que combinar tales características con otras que confieren a la planta una resistencia moderada causaría una menor presión selectiva en las plagas, y disminuiría su velocidad de adaptación (Bottrell *et al.*, 1998).

En este sentido, existen evidencias de campo y laboratorio que muestran que los EN afectan la tasa de adaptación de las plagas a plantas hospedadoras resistentes. Gould *et al.*, (1991) usaron modelos genéticos para estimar la velocidad de adaptación de la oruga del brote del tabaco, *Heliothis virescens* (F.) a plantas parcialmente resistentes, en presencia y ausencia de los EN. Si la mortalidad causada por los enemigos incrementa la aptitud diferencial entre distintos genotipos de la plaga favoreciendo a aquellos mejor adaptados a las plantas resistentes, entonces éstos tenderán a aumentar la velocidad de adaptación de la plaga. Por el contrario, si éstos decrecen la aptitud diferencial, decrecerá la tasa de adaptación.

4.2.2 Plantas genéticamente modificadas

La obtención de variedades resistentes se ha realizado hasta hace poco tiempo exclusivamente a partir del material genético propio de la especie, por métodos de mejoramiento. En la actualidad, es posible obtener plantas resistentes a insectos mediante la incorporación de genes de otros organismos por técnicas de ingeniería genética. El procedimiento consiste en la identificación y aislamiento de un gen que codifica la síntesis de una proteína tóxica para los insectos y su incorporación a la planta. Un ejemplo bien conocido y de actual utilización es el de la deltatoxina producida por la bacteria del suelo *B. thuringiensis (Bt).* Este gen es aislado de la bacteria, luego se realiza su traspaso mediante la fusión a un plásmido o vector, que puede ser ADN bacteriano o viral, y la

molécula recombinante con material genético de ambos se pone en contacto con células en cultivo de la planta a la que se desea incorporar resistencia. De este modo las células son infectadas por la bacteria modificada, incorporan la información genética para la síntesis de la sustancia tóxica y la transmiten a su descendencia. Las variedades genéticamente modificadas son una innovación de la llamada resistencia varietal conocida como antibiosis, donde el grado de exposición de los insectos a la toxina es completo, pues ésta se incorpora a las partes verdes de las plantas hasta la senescencia, pudiendo estar presente en el polen, raíces y otras partes no verdes.

En EEUU se cultiva algodón, maíz y papa con transgenes insecticidas desde 1996 en grandes extensiones, mientras que en Europa su uso es muy resistido. En nuestro país se utilizan en la actualidad tres variedades transgénicas resistentes a insectos (dos de maíz y una de algodón), desarrolladas por la empresas Monsanto y Ciba-Geigy, mientras que dos maíces nuevos están en proceso de evaluación.

La reciente obtención y utilización de plantas transgénicas resistentes a insectos y a patógenos virales, ha generado un extenso debate acerca de los beneficios potenciales y los riesgos ecológicos que implican (Hails, 2000). Los beneficios comprenden la disminución en el uso de insecticidas químicos, con la consiguiente reducción del impacto de éstos sobre EN y polinizadores, y un control de la plaga más efectivo, ya que la proteína insecticida se encuentra en todos los tejidos. Los riesgos ecológicos se refieren principalmente al escape de transgenes hacia plantas silvestres emparentadas, al impacto sobre otras especies que no son objeto de control y a los riesgos de selección a favor de individuos resistentes dentro de la población de la plaga.

El escape de transgenes hacia especies silvestres emparentadas tiene como consecuencia la hibridación y su frecuencia dependerá no sólo del número de estas plantas sino también de su cercanía al cultivo transgénico. La resistencia a plagas y patógenos adquirida por las plantas les confiere una ventaja adaptativa en su hábitat natural, y aquellas plantas silvestres que obtengan esta ventaja por hibridación con las transgénicas podrán incrementar su abundancia en detrimento de otras, convirtiéndose en especies invasoras (Hails, 2000). Para evitar estos problemas es necesario evaluar el riesgo ecológico que trae aparejada una invasión, y una manera de hacerlo es a través del diseño de monitoreos que la detecten en forma temprana. Estos deberán traspasar la pequeña escala de campo, para llevarse a cabo en el ámbito regional, más representativas de la producción comercial, y de los procesos del flujo de genes ya que según Kareiva *et al.* (1996) los experimentos a pequeña escala y los modelos no son suficientes para predecir invasiones antes que sea demasiado tarde.

Con relación al efecto de las plantas transgénicas sobre las especies que no son objeto de control ("no target"), debe tenerse en cuenta que tanto éstas como las plantas silvestres que reciban por hibridación resistencia a insectos pueden causar una disminución de la supervivencia de predadores, parasitoides, polinizadores y de otras especies que se desea conservar.

Para evaluar cómo la introducción de esta nueva tecnología afecta al control natural ejercido por los enemigos espontáneamente presentes dentro del agrosistema, Johnson y Gould (1992) encontraron que las plantas transgénicas de tabaco *Bt* y los EN interactuaron sinérgicamente incrementando la mortalidad en lsa poblaciones de *H. virescens;* en este caso, el tiempo de desarrollo de la plaga se extendió, siendo más vulnerable para el EN. Sin embargo, modelos de simulación alertan sobre el posible aumento en la velocidad de adaptación de las plagas a las plantas resistentes en presencia de EN, como hemos mencionado anteriormente (Bottrell *et al.*, 1998). Hilbeck *et al.* (1998) utilizaron maíz *Bt* para medir el efecto de dos especies de lepidópteros presa sobre el neuróptero predador *Chrysoperla carnea* (Stephens), observando un retraso en el desarrollo de las larvas del predador debido a la deficiencia nutricional causada por las presas enfermas, y también a la exposición misma al *Bt.* Por otra parte, Pilcher *et al.* (1997) encontraron que el polen de un maíz *Bt* no afectó a tres predadores: un coleóptero, un heteróptero y un neuróptero, a pesar de un alto nivel de toxina producido por estas plantas. Sin embargo, se ha comprobado que la mariposa monarca *Danaus plexippus* (L.), para la cual se hacen grandes esfuerzos de conservación en EEUU, disminuye su supervivencia cuando sus larvas se alimentan de *Asclepias curassavica* que crece en cercanías de cultivos de maíz transgénicos y recibe polen de estas plantas (Hails, 2000).

La fuerte presión de selección ejercida por esta técnica puede causar una rápida evolución de resistencia en las plagas, que dependerá de la frecuencia inicial de alelos resistentes en las poblaciones. Existen estrategias que permiten evitar la adquisición rápida de resistencia y hacer más sustentable el uso de esta técnica (Gould, 1998). Una de ellas es la provisión de refugios, técnica que se utiliza también para evitar la adaptación a plaguicidas y a plantas resistentes obtenidas en forma tradicional. Consiste en mezclar cultivares tóxicos (*Bt*) con cultivares no tóxicos, para que adultos resistentes y susceptibles puedan aparearse, reducir la diferencia en aptitud entre ambos y disminuir la intensidad con que los resistentes transmiten su condición a la descendencia. También pueden mezclarse en un mismo cultivar, genes que producen dos o más toxinas diferentes, entonces si un insecto se adapta a una toxina, muere por acción de la otra, y si es susceptible a ambas, "muere dos veces". Otra estrategia es la de utilizar bajas dosis de toxinas que actúan en conjunto con los EN para disminuir las densidades de la plaga. Un ejemplo de esta modalidad ya fue mencionado para *H. virescens.*

Actualmente, la estrategia más promisoria para evitar una rápida adaptación parece ser la combinación de refugios (cultivares no tóxicos) con cultivares *Bt* altamente tóxicos (Gould, 1998; Hails, 2000). Esta combinación debería llevarse a una escala espacial tal que evite que las larvas se alimenten de los dos tipos de plantas a la vez, quedando medianamente intoxicadas, pero que favorezca el cruzamiento al azar de adultos resistentes y susceptibles. Para que esta técnica sea satisfactoria, las altas dosis de toxinas *Bt* no deben disminuir el rendimiento de las plantas ni deben afectar a otros organismos; es apropiada para plagas no polífagas, y para cultivos con una sola plaga principal.

En 1996 se detectó el primer fracaso de plantas de algodón *Bt* en su resistencia frente a una de las tres plagas de lepidópteros que esta variedad transgénica era capaz de matar (Kaiser, 1996). La explosión poblacional de la plaga fue atribuida, por la empresa que produce y comercializa el algodón *Bt,* a temperaturas inusualmente altas y a un aumento en la superficie cultivada de maíz, que es otra de sus plantas hospedadoras. Sin embargo, esto no ha sorprendido a la comunidad científica, que considera que estas fallas van a acelerar no sólo la evolución de la resistencia de las plagas al *Bt,* sino que también van a convertir en un recurso inútil a la técnica de pulverizado con *Bt,* largamente usada por los productores orgánicos, y con la cual no han aparecido importantes casos de resistencia.

Finalmente, otros problemas pueden presentarse si la resistencia a los herbívoros altera la aptitud de la planta o el rendimiento del cultivo, o bien si se produce una liberación de plantas genéticamente modificadas en el centro de origen del cultivo, lo que reduciría el acervo genético existente, y consecuentemente la diversidad.

El mayor desafío, desde el punto de vista ecológico, parece ser la optimización de los beneficios de las plantas genéticamente transformadas para el manejo de plagas minimizando la adaptación rápida de las mismas, los efectos sobre otros organismos y el escape de trangenes, considerando en todo momento si los cultivos transgénicos resultarán más o menos dañinos al ambiente que las alternativas convencionales de manejo de plagas.

Teniendo en cuenta lo antedicho y los intereses económicos que promueven el desarrollo de esta tecnología (Ver capítulo Altieri (2000), en este libro) sería conveniente, además, analizar críticamente su impacto a nivel social y económico para que la misma resulte un aporte real a una agricultura sustentable.

4.3.Técnicas culturales

Existe una variedad de prácticas agrícolas que son potencialmente capaces de mitigar la aparición de las plagas (Horn, 1988). El control cultural constituye una manipulación del ambiente para mejorar la producción del cultivo, y representa la primera línea de defensa contra las plagas que puede retrasar o disminuir las explosiones numéricas de las mismas (Herzog & Funderburk, 1986). Apunta a impedir la colonización del cultivo por la plaga, crear condiciones bióticas y abióticas adversas para su supervivencia y modificar el cultivo de manera tal de reducir el daño. Además, tal como hemos detallado al referirnos al control biológico por conservación, muchas técnicas culturales contribuyen a aumentar la efectividad de los EN.

Los cultivos o franjas trampas se utilizan para atraer plagas, y una vez concentradas sobre ellas, ser tratadas con insecticidas o bien eliminadas mecánicamente al final de la temporada del cultivo. La siembra temprana de soja en pequeñas parcelas es una técnica muy practicada para la concentración y eliminación de algunas plagas.

Las rotaciones de cultivos, o alternancia de un cultivo hospedero con otro no-hospedero, son efectivas especialmente para la prevención de organismos especialistas y con

capacidad de dispersión limitada como los nematodes (Wijnands & Vereijken, 1992) y las larvas de escarabajos.

Las prácticas de arado y labranza exponen a los insectos del suelo o en diapausa invernal (por ejemplo pupas de lepidópteros) a la predación y las heladas. En algunos casos, enterrar o quemar los restos de un cultivo constituye una herramienta útil para eliminar plagas y patógenos ya que implica la eliminación de refugios de cría y diapausa.

La densidad de las plantas y la amplitud de los surcos puede afectar positiva o negativamente la colonización de las plagas y EN en un cultivo. Por ejemplo, la alternancia de soja tardía y trigo plantado en surcos muy estrechos y a alta densidad, aumenta la presencia de EN de lepidópteros en agroecosistemas de Carolina del Norte (Sprenkel *et al.*, 1979).

Las fechas de siembra o cosecha pueden ser ajustadas para evitar determinados períodos de actividad de las plagas, es decir generar asincronía entre el herbívoro y la planta. Las variedades de maduración temprana o período corto son convenientes para estos fines. En la soja, por ejemplo, se evitan plagas como la chinche verde (Newsom & Herzog, 1977). Los cultivos de alfalfa mantienen alta abundancia de EN si la cosecha se realiza en franjas de manera alternada, en dos oportunidades de cosecha diferentes.

La irrigación controlada puede matar en forma directa a algunas plagas, especialmente de suelo, o bien promover la aparición de hongos entomopatógenos.

Trampas de luz, atrayentes químicos o el ultrasonido, de dudosa eficacia, constituyen otras herramientas de control. El uso de radiación, y calor o frío, para el manejo de insectos plagas de productos almacenados, ha resultado práctico. Finalmente, prácticas primitivas como la eliminación manual o la aplicación de polvos o cenizas volcánicas sobre el cultivo, constituyen aún técnicas utilizadas en la agricultura a pequeña escala de países en desarrollo.

Otras prácticas culturales tales como el uso de insecticidas, fungicidas, herbicidas y fertilizantes pueden alterar significativamente la bioquímica nutricional de las plantas estimulando en forma directa o indirecta el crecimiento poblacional de los herbívoros (Risch, 1987). Por ejemplo, hay evidencias de explosiones poblacionales de algunos ácaros por efecto de los insecticidas, y de aumento de la densidad de ciertos áfidos en cultivos fertilizados, en especial con nitrógeno. Si bien estos efectos se encuentran bastante difundidos, y son considerados fundamentalmente por los productores orgánicos (ver capítulo 9), han sido poco estudiados hasta el momento, y la disminución de tales insumos como táctica de control de plagas no es muy frecuente.

Como hemos mencionado antes, una de las principales causas de aparición de plagas está dada por el uso extendido de monocultivos en tiempo y espacio, que son genética y fenológicamente homogéneos. Las técnicas tendientes al aumento de diversidad (Altieri, 1992), ya sea varietal, específica, a pequeña escala o escala regional, por presencia de malezas o cortinas forestales, etc., pueden contribuir a la disminución de los artrópodos plaga. La mezcla de dos o más cultivos en un mismo lote o parcela, también llamada "intercropping", es una práctica que ha demostrado importantes efectos supresi-

vos sobre las plagas y ha sido tradicionalmente aceptada en América tropical, donde se cultiva maíz, poroto y zapallo, logrando reducir las poblaciones de insectos (Risch, 1981). En Europa es muy utilizada por la agricultura orgánica, donde en general se la considera exitosa en el manejo de plagas (Theunissen, 1997). Sin embargo, también existen ejemplos que indican un aumento de la abundancia y diversidad de plagas cuando se mezclan varios cultivos (Altieri, 1992, Sarandón 2000, en este libro)

La utilización de borduras de vegetación espontánea que promuevan la abundancia y diversidad de predadores y parasitoides, a través de la creación de refugios y fuentes energéticas como son el polen y el néctar, constituye una técnica que requiere una comprensión global del agroecosistema (Altieri & Whitcomb, 1979; Altieri & Letourneau, 1982). Por ejemplo, en Inglaterra la maleza *Urticae dioica* L. es una fuente de EN de áfidos y además tiene la ventaja de no ser hospedadora de plagas importantes (Perrin, 1975). La presencia de vegetación silvestre también puede reducir las tasas de colonización de las plagas hacia el cultivo, ya que altera las claves olfativas o visuales que necesitan los herbívoros. También existen ejemplos que indican efectos adversos de las malezas sobre todo cuando constituyen sitios de hibernación de las plagas, por lo que es conveniente su destrucción. El mantenimiento de zonas libres de malezas puede servir para disminuir poblaciones de herbívoros generalistas como las tucuras.

La heterogeneidad del paisaje y la estructura del habitat son aspectos importantes que influyen tanto sobre la presencia de plagas como de los enemigos naturales. El manejo mediante prácticas culturales de las plagas polífagas requiere considerar una escala espacial mayor que el lote o parcela de cultivo, ya que es necesario conocer la dinámica de la utilización temporal y espacial por parte de las plagas de las distintas plantas hospedadoras (cultivadas y de presencia espontánea) a una escala regional. Por ejemplo, la arañuela roja *Tetranychus urticae* en Carolina del Norte ataca una diversidad de cultivos comerciales, pero la magnitud de la infestación en cada uno de ellos y el momento en que esta ocurre, depende estrechamente del tamaño que sus poblaciones hayan alcanzado en el cultivo de maíz, al principio de la estación (Kennedy & Storer, 2000).

La manipulación espacial y temporal de los patrones de cultivo para el manejo de plagas, tanto a escala local como regional, es una práctica que existe desde los inicios de la agricultura. Su bajo costo, la compatibilidad con otras técnicas y la mitigación de muchas de las consecuencias ecológicas negativas de la agricultura convencional, hacen que esta práctica sea altamente recomendable.

4.4.Otras técnicas basadas en principios biológicos

Dentro de estas técnicas cabe mencionar el control mediante la liberación de machos estériles (utilizada en Argentina para el control de la mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wid.) en frutales), y mediante feromonas (sustancias químicas que intervienen en la interacción entre individuos de la misma especie). Existen feromonas sexuales, que atra-

en un sexo hacia el otro y favorecen la cópula, feromonas de agregación, que atraen individuos de la misma población a una nueva fuente de alimento y varias otras. Esta técnica se basa en la identificación y síntesis de tales sustancias químicas, pudiendo utilizarse de diferentes maneras: en monitoreos para estimar la densidad o detectar la presencia de nuevas plagas, para atraer y luego eliminar químicamente una alta proporción de machos de la población y disminuir así la fertilización de las hembras, para causar un efecto de saturación en el medio que imposibilite la mediación natural y reduzca el porcentaje de apareamientos, o como trampas en las cuales se concentre la aplicación de insecticidas. La principal ventaja de estas técnicas es su especificidad y selectividad. Existen varios ejemplos de su utilización en Europa y EEUU (DeBach & Rosen, 1991).

4.5.Control químico

Los insecticidas han recorrido un extenso camino desde prácticamente los inicios de la agricultura. Desde los primeros compuestos inórganicos (sulfuros, arsénicos), los antiguos botánicos (piretrum, nicotina, rotenona, etc.), y la síntesis de insecticidas orgánicos sintéticos (clorados, fosforados, carbamatos y piretroides), hasta los reguladores de crecimiento, el hombre ha podido controlar enfermedades provocadas por insectos vectores (malaria, tifus, etc.) y plagas de la agricultura (Casida & Quistad, 1998). Han gozado de mucha popularidad debido a su supuesta eficacia, versatilidad, facilidad de uso y bajos costos. Sin embargo, el uso de estos productos ha traído aparejados problemas de diversa índole.

Debido a la ineficiencia en los métodos de aplicación de los insecticidas, se calcula que sólo del 1 al 5% de los productos alcanzan a la plaga a la cual quieren combatir (Horn, 1988), razón por la cual los efectos secundarios sobre el ambiente son múltiples. Son ampliamente conocidos los problemas de contaminación del agua, suelo y aire, así como la movilidad y amplificación biológica de los plaguicidas persistentes (por ejemplo clorados) en el ecosistema. Esto trae aparejado amenazas a la vida silvestre: el 20% de las especies que se consideran amenazadas en EEUU, alcanzaron tal condición debido a los plaguicidas (Weber, 1992).

Los efectos crónicos o a largo plazo sobre la salud humana se dan por contaminación de alimentos, agua, aire y ropa. La leche materna constituye un ejemplo de acumulación de DDT en grasas por ingesta de residuos. Además existen una serie de problemas ocasionados por la manipulación de plaguicidas por parte de los agricultores y operarios de las fábricas, tanto crónicos como agudos, donde las consecuencias de estas intoxicaciones pueden ser incluso mortales.

Por otra parte, el control químico somete a las poblaciones de las plagas a una presión de selección tal que da origen inevitablemente a la resistencia genética y, en ciertos casos, a la resistencia múltiple y cruzada (Metcalf, 1986). Ya a mediados de la década del 40, y a poco de aparecer el DDT, surgieron varios ejemplos de resistencia: *Musca domestica* L, *Culex pipiens* L., *Aedes sollicitans* (Walker), *Cimex lectularius* L. y *Pediculus huma-*

nus L. Un manejo cuidadoso de la resistencia puede demorar el proceso pero no evitarlo. Esto hace que a su vez, se acelere la fabricación y el comercio de nuevos productos para "solucionar" problemas de resistencia.

Otro efecto no deseado del uso abusivo de los plaguicidas es la muerte de EN y polinizadores. Estos individuos son más susceptibles que las plagas porque se mueven más y están más expuestos, desarrollan resistencia más lentamente y carecen de enzimas capaces de desintoxicarlos.

La transformación de plagas secundarias en plagas mayores, se da en general por la desaparición local de una plaga y de sus EN por un insecticida, permitiendo que resurjan herbívoros que hasta el momento se encontraban en bajas densidades. La cochinilla acanalada, *I. purchasi,* fue plaga primaria de los cítricos en California, donde se la controló exitosamente con el depredador *Rodolia cardinalis* (Mulsaut). Luego del uso excesivo de DDT durante los años 40 y 50, resurgió nuevamente y alcanzó altas densidades debido a la adquisición de resistencia y a la desaparición de su depredador. El pulgón del algodón *Aphis gossypii* Glover, era una plaga secundaria del cultivo de algodón en California que estaba controlada naturalmente por avispas y otros depredadores. Los productores de la zona, aplicaron durante más de 20 años organofosforados para controlar plagas primarias del algodón y mientras que los pulgones adquirieron resistencia, sus EN fueron devastados por los insecticidas, creando un gran problema donde antes existía uno pequeño (Solbrig & Solbrig, 1994).

El control químico está considerado como una herramienta aceptada dentro del MIP, y no es probable que sea reemplazado ni a corto ni a mediano plazo. Actualmente se tiende a reducir las tasas de uso, monitorear el destino de los productos, cambiar los persistentes por los degradables, y fundamentalmente, incrementar la selectividad de los insecticidas. En este último aspecto, la Organización Internacional de Lucha Biológica (OILB), en Europa, trabaja para evaluar la compatibilidad entre plaguicidas y EN. Muchos de los productos que tuvieron su apogeo entre las décadas del 40 y del 70, no pasarían hoy las pruebas para ser comercializados, al menos en Europa, debido entre otras cosas a la falta de selectividad. Entre los nuevos insecticidas que están siendo evaluados encontramos: los productos bacterianos neurotóxicos como el spinosad que presenta una elevada selectividad por los lepidópteros para el manejo de plagas, los inhibidores de la actividad mitocondrial (neonicotinoides), los reguladores del crecimiento (análogos de hormonas de insectos que impiden las mudas normales) y los botánicos como la azadiractina. Este último es el ingrediente activo del neem, árbol de la India (*Azadicachta indica*). Si bien el extracto de sus semillas no constituye una novedad, es actualmente utilizado en modernos programas de conservación de EN, ya que contiene productos antialimentarios que afectan a muchos insectos plaga polífagos. Se ha visto hasta ahora que su efecto contra EN es subletal en la reproducción e inocuo en la supervivencia de pentatómidos; mientras que a campo es tolerable para algunos predadores del género *Chrisoperla.*

La agricultura moderna, se ha hecho cada vez más dependiente de los plaguicidas químicos. Sólo un manejo muy racional de estos productos en el marco del MIP hará de esta técnica una herramienta más confiable ecológicamente de lo que ha sido hasta ahora.

5. Conclusión

Varias prácticas de la agricultura actual aumentan la vulnerabilidad de los agroecosistemas y originan numerosos problemas, entre ellos el desarrollo de plagas.

El MIP es, desde hace varias décadas, el paradigma más adecuado y promisorio para la solución a este problema en un marco de sustentabilidad. Si bien se ha extendido a lo largo del mundo y su enseñanza se ha incluido en los programas académicos de muchas universidades, su implementación ha sido algunas veces deficiente fundamentalmente debido a la falta de integración y aprovechamiento de diversas técnicas. Muchos programas que utilizan como única técnica de control los plaguicidas químicos, se consideran Manejos Integrados por el solo hecho de emplear técnicas de monitoreo para determinar si la población plaga ha alcanzado el nivel de daño económico. Cabe aclarar que si bien el MIP puede incluir el uso de plaguicidas, su filosofía tiene bases ecológicas sólidas y por lo tanto debería priorizar métodos biológicos y culturales de control sobre criterios económicos a corto plazo. De esta manera el MIP constituirá un componente fundamental de la agricultura sustentable.

Es necesario continuar reforzando las bases ecológicas del manejo de plagas, incrementando la investigación en aspectos teóricos y aplicados. Las acciones deseables para que el manejo de plagas sea sustentable son principalmente: considerar el agroecosistema en su totalidad, utilizar técnicas de conservación de EN de presencia espontánea, practicar el manejo cultural, combinar el uso de EN con plantas resistentes compatibles, e incluso tener en cuenta que la inacción es, en determinadas situaciones, una alternativa para el manejo. La historia del manejo de plagas, con numerosos ejemplos de la aplicación de diferentes técnicas, sugiere que el éxito está más ligado a la comprensión de las interacciones ecológicas entre los distintos niveles tróficos que involucran a las plagas, que a una nueva y revolucionaria técnica.

Altieri MA & DL Letourneau (1982) Vegetation management and biological control in agroecosystems. Crop Protection 1: 405-430.

Altieri MA & WH Whitcomb (1979) The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. Hort Science 14: 12-18.

Altieri MA (1992) Biodiversidad, ecología y manejo de plagas. CLADES. Cetal Ed.: 162 pp.

Bottrell DG, P Barbosa & F Gould (1998) Manipulating natural enemies by plant variety selection and modification: a realistic strategy? Ann Rev Entomol 43: 347-368.

Casida JE & GB Quistad (1998) Golden age of insecticide research: past, present, or future? Annu Rev Entomol 43: 1-16.

Cory JS & JH Myers (2000) Direct and indirect ecological effects of biological control. TREE 15: 137-139.

Chidichimo HO, CB Fusé, LB Almaráz & ME Sempé (1994) A new oat cultivar resistant to greenbug toxemia. Annual Plant Resistance to Insect Newsletter 20: 35.

DeBach P & D Rosen (1991) Biological control by natural enemies. Cambridge University Press, New York. 440 pp.

Dennis B & B Taper (1994) Density dependence in time series observations of natural populations: estimation and testing. Ecol Monogr 64: 205-224.

Garat O, EV Trumper, DE Gorla & N Perez-Harguindeguy (1999) Spatial pattern of the Río Cuarto corn disease vector, Delphacodes kuscheli Fennah (Hom., Delphacidae), in oat fields in Argentina and design of sampling plans. J Appl Ent 123: 121-126.

Gould F (1998) Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pests genetics and ecology. Ann Rev Entomol 43: 701-726.

Gould F, A Anderson, D Landis & H van Mellaert (1991) Feeding behavior and growth of *Heliothis virescens* larvae on diets containing *Bacillus thuringiensis* formulations or endotoxines. Entomol Exp Appl 58: 199-210.

Greco NM (1995) Disposición espacial y distribución en la planta de maíz de *Diatraea saccharalis* (F) (Lepidoptera: Pyralidae). Desarrollo de un plan de muestreo secuencial. Rev Fac Agronomía, La Plata 71: 43-52.

Greco NM, SJ Sarandón & PC Pereyra (1998) Parasitism of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) by *Trichogramma exiguum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae): Influence of *Zea mays* L. leaf pubescence. Ecología Austral 8: 31-35.

Hails RS (2000) Genetically modified plants - the debate continues. TREE 15: 14-18.

Harrison S & N Capuccino (1995) Using density-manipulation experiments to study population regulation. En: Population Dynamics. Cappuccino N & PW Price (Eds.) Academic Press, San Diego, California. 429 pp.

Herzog, DC & JE Funderburck (1986) Ecological bases for habitat management and pest cultural control. En: Ecological theory and integrated pest management practice. Kogan M, (Ed.) Wiley & Sons, New York. pp. 217-250.

Hilbeck A, M Baumgartner, P Fried & F Bigler (1998) Effects of trangenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of inmature Chrysoperla carnea (Neuroptera: Chrysopidea). Environ Entomol 27: 480-87.

Hokkanen HMT & D Pimentel (1989) New associations in biological control: Theory and practice. Can Ent 121: 829-840.

Horn DJ (1988) Ecological approach to pest management. Elsevier Applied Science Publ., London. 285 pp.

Howarth FG (1991) Environmental impacts of classical biological control. Annual Rev Entomol 36: 485-509.

Ingram WR & SM Green (1972) Sequential sampling for bollworms on raingrown cotton in Botswana. Cotton Grow Rev 49: 265-275.

Johnson MT & F Gould (1992) Interaction of genetically engineered host plant resistance and natural enemies of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) in tobacco. Environ Entomol 21: 586-97.

Kaiser J (1996) Pests overwhelm Bt cotton crop. Science 273: 423.

Kareiva P, IM Parker & M Pascual (1996) Can we use experiments and models in predicting the invasiveness of genetically engineered organisms? Ecology 77: 1670-1675.

Kennedy GG & NP Storer (2000) Life systems of polyphagous arthopod pests in temporally unstable cropping systems. Annu Rev Entomol 45: 467-493.

Kenmore P, FO Cariño, CA Perez, VA Dyck & AP Gutierrez (1984) Population regulation of the rice brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal) within rice fields in the Philippines. J Plant Prot Trop 1: 19-37.

Kogan M (1998) Integrated pest management: Historical

perspectives and contemporary developments. Annu Rev Entomol 43:243-270.

Landis DA, SD Wratten & GM Gurr (2000) Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. Annu Rev Entomol 45:175-201.

Lange C & ML de Wysiecki (1999) Epizootias de *Nosema locustae* (Microspora) en Melanoplinos (Acrididae: Melanoplinae) de Buenos Aires y La Pampa. Rev Soc Entomol Arg 58:76-78.

Lange C (1999) El desarrollo de *Nosema locustae* Canning (Protozoa: Microspora) para el control biológico de tucuras (Orthoptera: Acridoidea) y las consecuencias de su utilización en la Argentina. Serie Monográfica CIC Bs. As. En prensa.

Lockwood JA (1993) Environmental issues involved in biological control of rangeland grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) with exotic agents. Environ Entomol 22:503-518.

Louda SM (1997) Ecological effects of an insect introduced for the biological control of weeds. Science 277: 1988-1990.

Luna MG & NM Greco (1998) Disposición espacial de las larvas de *Rachiplusia nu* Gueneé (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo de soja. Ecología Austral 8:41-47.

Metcalf RL (1986) The ecology of insecticides and the chemical control of insects. En: Kogan, M (Ed.) Ecological theory and integrated pest management practice. Wiley & Sons, New York. pp:251-297.

Naranjo SE & HM Flint (1994) Spatial distribution of preimaginal *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cotton and development of fixed-precision sequential sampling plans. Environ Entomol 23:254-266.

Newsom LD & DC Herzog (1977) Trap crops for control of soybean pest. La Agric 20:14-15.

Norton GA & JD Mumford (1993) Decision analysis techniques. En: Norton GA & JD Mumford (Eds.) Decision tools for pest management. CAB International, Walingford, UK. pp:43-68.

Overholt WA, AE Knustson, JW Smith Jr & FE Gilstrap (1990) Distribution and sampling of southwestern corn borer (Lepidoptera:Pyralidae) in preharvest corn. J Econ Entomol 83:1370-1375.

Obrycki JJ, MJ Tauber & WM Tingey (1983) Predator and parasitoid interaction with aphid resistant potatoes to reduce aphid densities: a two year field study. J Econ Entomol 76:456-462.

Orr DB, DA Landis, DR Mutch, GV Manley, SA Stuby & RL King (1997) Ground cover influence on the microclimate and Trichogramma (Hymenoptera; Trichogrammatidae) augmentation in seed corn production. Environ Entomol 26:433-438.

Painter RH (1958) Resistance of plants to insects. Ann Rev Entomol 3:267-290.

Perrin RM (1975) The role of perennial stinging nettle, Urtica dioica, as a reservoir of benefiacial natural enemies. Ann Appl Biol 81:289-97.

Pilcher CD, JJ Obricky, ME Rice & LC Lewis (1997) Preimaginal development, survival and field abundance of insect predators on transgenic Bacillus thuringiensis corn. Environ Entomol 26:446-54.

Risch SJ (1981) Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypothesis. Ecology 62:1325-40.

Risch SJ (1987) Agricultural ecology insect outbreaks. En: Insect outbreaks. Barbosa, P & JC Schultz (Eds.), Academic Press, Inc., San Diego, California. 578 pp.

Root RB (1973) Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (Brassica oleracea). Ecological Monographs 43:95-124.

Smith D & DF Papacek (1991) Studies of the predatory mite *Amblyseius victoriensis* (Acarina: Phytoseiidae) in citrus orchards in south-east Queensland: control of *Tegolophus australis* and *Phyllocoptruta oleivora* (Acarina: Eriophyidae), effects of pesticides, alternative host plants and augmentative release. Exp Appl Acarol. 12:195-217.

Solbrig OT & DJ Solbrig (1994) So shall you reap. Shearwater book.: 284 pp.

Sosa O (1988) Pubescence in sugarcane as a plant resistance character affecting oviposition and mobility by the sugarcane borer (Lepidoptera: Pyralidae). J Econ Entomol 81:663-667.

Sprenkel RK, WM Brooks, JW Van Duyn & LL Deitz (1979) Effects of the three cultural variables on the incidence of *Nomuraea rileyi*, phytophagous Lepidoptera, and their predators in soybeans. Environ Entomol 5:205-209.

Sylvester ES & EL Cox (1961) Sequential plans for sampling aphids on sugar beets in Kern County, California. J Econ Entomol. 54: 1080-1085.

Theunissen J (1997) Application of intercropping in organic agriculture. Entomol. Research in Organic Agriculture pp: 251-259.

Trumper EV & JE Gyenge (1998) Binomial sampling plans for the spotted alfalfa aphid, *Therioaphis trifolii,* in Argentina. International Journal of Pest Management 44: 235-238.

Trujillo Arriaga J (1992) Control biológico por conservación: enfoque relegado. Perspectiva para su desarrollo en latinoamerica. Memoria del IV Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas. CEIBA, Honduras pp. 17-26.

Turchin P (1995) Population regulation: old arguments and a new synthesis. En: Population Dynamics. Cappuccino N & PW Price (Eds.), Academic Press, San Diego, California. 429 pp.

van Emden HF (1986) Control de plagas y su ecología. Cuadernos de Biología, Omega, Barcelona. 65pp.

Weber P (1992) A place for pesticides? World Watch 5: 18-25.

Wijnands FG & P Vereijken (1992) Region-wise development of prototypes of integrated arable farming and outdoor horticulture. Netherlands J. of Agriculture Science 40: 225-238.

Wolda H (1989) The equilibrium concept and density dependence test. What does it all mean? Oecologia 81: 430-432.

Elementos para el manejo de enfermedades

Erlei Melo Reis, Ricardo Trezzi Casa y Marcelo Carmona

1. Introducción

La inestabilidad de la productividad de los cultivos agrícolas, en la mayoría de las veces, está relacionada con las condiciones climáticas favorables para la ocurrencia de las enfermedades. De manera general, el control de los patógenos involucra medidas que aumentan el costo de producción y, consecuentemente, reducen el lucro de la actividad agrícola. Esta amenaza a la sustentabilidad económica ha llevado a que los productores apliquen el manejo integrado de enfermedades (MIE). En el control integrado se emplean todas las tácticas disponibles teniendo siempre presente el retorno económico. En el manejo integrado de enfermedades, además de estos aspectos, se toma en consideración la sustentabilidad ecológica, tendiendo como principio a la racionalización del uso de agroquímicos.

En el MIE las principales estrategias de control se basan en el uso de cultivares resistentes, en la aplicación de fungicidas basados en el umbral de daño económico (UDE), en el uso de agentes de control biológico y en el control por prácticas culturales. De esta manera, se puede visualizar por lo expuesto, que la sustentabilidad de la actividad agrícola, será más fácilmente obtenida a través del MIE.

Muchos fitopatólogos han señalado que la medida preferencial para el control de enfermedades es el desarrollo de variedades resistentes. Para los patosistemas que involucran agentes causales biotróficos como por ejemplo los oidios y las royas en los cereales de invierno, la obtención de variedades resistentes ha sido lograda con éxito y más fácilmente. Sin embargo, debido a la variabilidad genética de estos fitopatógenos, la durabilidad de la resistencia ha sido corta. Por otro lado, al analizar los patosistemas con agentes causantes necrotróficos que causan pudriciones de raíz, mancha foliares y antracnosis, se observa claramente que la obtención de variedades resistentes ha sido difícil y en muy pocos casos se ha logrado éxito. Por estas razones el control de las enfermedades no puede estar basado exclusivamente en el uso de la resistencia genética.

Respecto al control químico, el uso de fungicidas puede resultar necesario en muchos casos, para asegurar la productividad de un cultivo afectado. Sin embargo estos agroquímicos pueden generar riesgos a la sustentabilidad ecológica y económica y es por eso que su empleo debe ser racionalizado de modo que sean utilizados sólo cuando hubiera necesidad y garantía de retorno económico.

Otra táctica integrante del MIE es el control biológico de fitopatógenos. Esta práctica ha sido menos utilizada que los otros métodos debido a las dificultades técnicas como la introducción de los microorganismos seleccionados como antagonistas en el ambiente donde reside el patógeno, y también por el alto costo de producción comercial de los agentes de biocontrol (Cook, 1996).

El control cultural de enfermedades consiste básicamente en el manejo de las condiciones de pre-siembra y de las etapas de desarrollo del hospedante en detrimento del patógeno, priorizando la prevención o la interrupción de la epidemia por otros medios que no sean la resistencia genética o el uso de pesticidas. El principal objetivo del control cultural es reducir el contacto entre el hospedante susceptible y el inóculo viable, de manera de reducir la tasa de infección y el consecuente progreso de la enfermedad (Rotem & Palti, 1980).

2. Factores determinantes de enfermedades de las plantas

Para una mejor comprensión de la función del MIE en el control de enfermedades, es necesario recordar algunos principios básicos de fitopatología.

Los tres factores determinantes de enfermedades bióticas o parasitarias de las plantas son el hospedante (h), el patógeno (p) y el ambiente (a). La combinación en el tiempo y en el espacio de estos tres elementos determina la ocurrencia o ausencia de una enfermedad, su intensidad y las pérdidas económicas en la producción.

El hospedante (h) (planta cultivada) es la principal fuente nutricional de los patógenos (p). Los parásitos son, nutricionalmente, dependientes del hospedante y sus poblaciones están en función de la disponibilidad de alimento y del ambiente que actúa como un catalizador de los procesos biológicos de reproducción.

Los patógenos (p) están representados por el agente causal de enfermedades, pudiendo ser hongos, bacterias, nematodes y virus.

El ambiente (a) esta representado por el agua líquida en el estado de vapor, por la temperatura del ambiente, humedad y pH del suelo, contenido de materia orgánica y fertilidad. En realidad el factor “a” representa un conjunto de factores edafo-climáticos que involucra al patógeno y al hospedante.

3. Clasificación de los patógenos según sus requerimientos nutricionales y sus implicancias en la supervivencia y en las estrategias de control.

Los agentes causantes de enfermedades de plantas pueden ser clasificados en parásitos biotróficos y necrotróficos (Federation, 1973). Los biotróficos son aque-

llos que extraen sus nutrientes única y exclusivamente de tejidos vivos. Este grupo de parásitos causa enfermedades del tipo mildews, oidios, royas, carbones y caries y su control se realiza, preferencialmente, mediante el uso de cultivares resistentes y por la quimioterapia.

Los parásitos necrotróficos son aquellos que utilizan los tejidos muertos como fuente de nutrientes. Después de la cosecha de un cultivo, los hongos continúan extrayendo nutrientes, saprofíticamente de los restos culturales. Presentan dos fases nutricionales diferentes: parasitismo en la planta viva y saprofitismo en la planta muerta. Sirven como ejemplo los agentes causales de pudriciones radiculares, manchas foliares y antracnosis. Los necrotróficos son por lo tanto, potencialmente, controlables por la rotación de cultivos, complementada por el tratamiento de semillas y por la aplicación de fungicidas en los órganos aéreos. Por otro lado aquellos que presenten estructuras de reposo, que los hacen más difícilmente manejados, pueden ser controlados por una rotación de cultivos de larga duración, desarrollando la supresividad edáfica, el manejo del suelo y de la materia orgánica.

4. Elementos para el manejo de enfermedades.

En el MIE se aplican los principios de control de enfermedades preconizados por Whetzel (1929). Zambolim *et al.*, (1997b) presentan un amplio abordaje del control integrado de enfermedades de cultivos de especies hortícolas. Las estrategias abordadas en esta revisión se basan principalmente, en la eliminación o reducción del inóculo inicial en sus fuentes.

A modo de ejemplo, en el cultivo de trigo en el sur de Brasil, la investigación llevada a cabo durante mucho años en el manejo del inóculo inicial de los hongos causantes de manchas foliares, ha generado muchas recomendaciones que fueron aplicadas a campo por Ingenieros Agrónomos de Departamentos Técnicos de Cooperativas y cuya inmediata consecuencia fue la reducción del uso de fungicidas (Reis *et al.*, 1997b); (Reis *et al.*, 1998).

El control biológico de enfermedades ha sido recientemente analizado y estudiado por Hornby (1993) y Van Driesche & Bellows, (1996), que han publicado amplias revisiones sobre la factibilidad del uso de medidas biológicas. El control biológico es uno de los elementos del MIE que será tratado más extensamente en el capítulo 13 de este libro.

Los elementos de manejo que se detallarán a continuación, cuando son usados conjuntamente, contribuyen decididamente a la sustentabilidad de la actividad agrícola.

4.1. Cultivares con resistencia genética

El uso de cultivares resistentes es un método preferencial de control de enfermedades. Por lo tanto, es una medida ideal de control de enfermedades, siendo la más sustentable económica y ecológicamente.

La resistencia es la habilidad de la planta hospedante de suprimir o retrasar, en algún grado de intensidad la actividad de un organismo fitopatógeno. Esa acción de supresión o de retraso se debe a los mecanismos de resistencia que actúan en el hospedante. En general, la defensa de las plantas contra los patógenos, es hecha tanto por mecanismos de defensa estructurales, que actúan como barreras físicas e impiden que el patógeno penetre, como por intermedio de reacciones bioquímicas en los tejidos de las plantas, produciendo sustancias tóxicas al patógeno o generando condiciones que inhiben su crecimiento en la planta. Genéticamente la resistencia puede tener una herencia simple o compleja. En razón de la base genética encontrada en los sistemas patógeno-hospedante, se verifica un mayor nivel de resistencia a los hongos biotróficos que a los necrotróficos. Esto se justifica porque, en la primera situación, la base genética es más estrecha y puede ser más fácilmente manejada.

En muchas situaciones la poca durabilidad de la resistencia especifica, (pocos genes) a royas u oidios por ejemplo han llevado a los mejoradores a buscar otro tipo de resistencia en la cual se seleccionen cultivares que presenten un desarrollo más lento a esas enfermedades. Los cultivares de trigo brasileros BR23 y BR35, han presentado un mecanismo de resistencia a la roya de la hoja con mayor durabilidad. Hoy se intenta buscar resistencia durable como aquella que se desarrolla en planta adulta.

Como ya se discutió, el desarrollo de cultivares resistente es más fácilmente obtenido con relación a los patógenos biotróficos que a los necrotróficos. Por eso se recuerda que la medida preferencial de control de los parásitos biotróficos es el uso de variedades resistentes debido a que estos patógenos no son controlados por la rotación de cultivos. Cuando el nivel de resistencia no fuera satisfactorio el control debería ser complementado con la aplicación de fungicidas en semillas u órganos aéreos.

4.2. Sanidad de semilla

Otro elemento importante en el MIE es la sanidad de la semilla. La semilla infectada por patógenos causantes de manchas foliares, cancros, antracnosis y pudriciones del tallo y de la espiga introduce el inóculo en los campos. El proceso de transmisión de los patógenos de las semillas a las plántulas ocurre normalmente con una elevada eficiencia.

El principio del control de los parásitos asociado a las semillas tiene dos fundamentos: producción de semillas libres de patógenos o con baja incidencia y el

uso de medidas fitosanitarias que eviten la transmisión del patógeno de la semilla a la plántula. Por lo tanto, la finalidad del control de patógenos asociado a la semilla es evitar la transmisión semilla-plántula y mantener en un cultivo, una intensidad de enfermedad por debajo del umbral de daño económico.

Las tácticas aquí discutidas se basan siempre en el principio que la semilla infectada transporta los parásitos al área cultivada. Posteriormente, bajo monocultivo los patógenos sobreviven en sus fases saprofíticas multiplicándose en los restos culturales. La consecuencia de este proceso es un aumento del inóculo disponible en los cultivos que, dependiendo del ambiente, puede resultar en epidemias que causan daños y pérdidas en una determinada área cultivada.

Bajo siembra directa la sustentabilidad económica y ecológica de una explotación agrícola podrá ser más fácilmente alcanzada a través de la producción de semillas libres de patógenos o con baja incidencia, o con el tratamiento erradicante de semillas con fungicidas, técnicas que deben ser complementadas con la rotación de cultivos que elimina o reduce el inóculo disponible en el lote.

4.2.1. Relación entre sanidad de cultivo y la sanidad de la semilla cosechada.

Como regla general se puede aceptar la afirmación de que la incidencia de un parásito necrotrófico en semillas es proporcional a la intensidad de la enfermedad que generó en los órganos aéreos del cultivo (Reis *et al.*,1999). Por eso, debe haber una preocupación de mantener baja la intensidad de enfermedades causadas por parásitos necrotróficos en los cultivos destinados a la producción de semilla. Las evidencias de esta afirmación pueden ser comprobadas por los datos obtenidos en las Tablas 1, 2 y 3 .

Tabla 1

Efectos del manejo de suelo y de rotación de cultivos en la incidencia de las manchas foliares[1] del trigo

Sistema de cultivo	**Métodos manejo de suelo**				
	SD	LM	AD	AR	Media
Monocultivo	34,2 aA	16,5 aAB	5,0 aB	3,2 aB	14,7 a
Rotación 1 inviernos	11,7 bA	1,4 bA	8,4 aA	2,4 aA	5,9 b
Rotación 2 inviernos	2,5 cA	6,4 abA	4,1 aA	4,1 aA	4,3 b
Media	16,1 A	8,1 B	5,9 BC	3,3 C	

Fuente: Reis *et al.*, (1992).

[1] Mancha amarilla 62,4%; Septoriosis de la hoja o de la gluma 14,6%; Mancha borrosa 1,9%.

SD= siembra directa; LM= labranza mínima; AD= arado de disco; AR= arado de reja y vertedera.

Medias seguidas por la misma letra minúscula en las columnas y mayúscula en las líneas son estadísticamente iguales.

Tabla 2

Efecto de la rotación de cultivos y del manejo del suelo en la incidencia de Drechslera tritici-repentis en la semilla de trigo cosechada.

Sistema de cultivo	Métodos manejo de suelo				
	SD	LM	AD	AR	Media
Monocultivo	11,3 aA	4,7 aB	5,3 aB	4,7 aB	6,5 a
Rotación 1 inviernos	4,7 bA	5,4 aA	6,0 aA	5,3 aA	5,3 a
Rotación 2 inviernos	5,7 bA	5,0 aA	5,7 aA	3,7 aA	5,0 a
Media	7,2 A	5,0 A	5,7 A	4,6 A	

Fuente: Reis et.al., (1997)

SD= siembra directa; LM= labranza mínima; AD= arado de disco; AR= arado de reja y vertedera.

Medias seguidas por la misma letra minúscula en las columnas y mayúscula en las líneas son estadísticamente iguales.

Tabla 3

Relación entre severidad de la mancha en red de la cebada al estado de hoja bandera, y la infección por *Drechslera teres* en la semilla cosechada. Cv. Quilmes Pampa. (Carmona & Barreto, inédito 1993)

Severidad (%)	Granos infectados (%)
2,45	23
2,5	30,5
2,64	22,5
2,7	20
2,7	35
2,8	23,5
2,9	17
2,9	22
2,9	27
3,2	24

Severidad (%)	Granos infectados (%)
3,2	26
3,2	31
3,35	28
3,75	26,5
4,15	27
4,8	50,5
4,9	45
5,20	49
6,1	40
6,3	47,5

En la Tabla 1 se observa que bajo monocultivo y siembra directa, la intensidad de las manchas foliares alcanza las mayores incidencias. Por otro lado, bajo siembra directa y rotación de cultivos la incidencia fue significativamente reducida. En este ensayo, la distancia entre las parcelas era de aproximadamente 3 metros aun así, la incidencia de las manchas foliares fue estadísticamente reducida en los tratamientos con rotación de cultivos. Esto es una evidencia de que el transporte de esporas (ascosporas y conidios) se produce a corta distancia. La presencia de manchas foliares en todos los tratamientos resultó de la interferencia

entre parcelas debido a su proximidad. Se hace notar que a medida que se redujo la cantidad de restos culturales sobre el suelo y, por lo tanto, del inóculo hubo una consecuente reducción de la intensidad de las enfermedades (Tabla 1). Se recuerda que la sustentabilidad de la actividad agrícola será más fácilmente alcanzada a través del uso de la siembra directa en la cual se consume menos energía.

Se ha observado que la alta intensidad de manchas foliares en el cultivo determina, consecuentemente, la presencia de los patógenos en las semillas cosechadas. Reis *et al.*, (1997a) informaron que, bajo monocultivo y siembra directa, la incidencia de *Drechslera tritici-repentis* (Died) Shoem. en la semilla cosechada fue la más elevada (11,3%, Tabla 2). En este trabajo se detectó mayor incidencia y severidad de las manchas foliares en los mismos tratamientos; la intensidad siempre fue mayor en monocultivo y siembra directa. De acuerdo a estos resultados se puede concluir que los cultivos destinados a la producción de semillas no deben ser conducidos bajo monocultivo.

Para el caso de *Drechslera teres* (Sacc.) Shoem. la infección de la semilla cosechada no sólo está relacionada con el nivel de la enfermedad en el campo, sino también con las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de la semilla (Barreto & Carmona, 1996) En la Tabla 3 se puede observar la relación entre la severidad de la mancha en red al estado de hoja bandera, y la infección por *Drechslera teres* en la semilla de cebada cosechada.

Aún cuando no se disponga de datos en los cultivos de arroz, poroto, maíz, soja y otras especies como hortalizas, se puede inferir que los cultivos productores de semilla, conducidos bajo monocultivo y siembra directa presentan mayor severidad de enfermedades en los órganos aéreos y consecuentemente, en la semilla cosechada. Algunas preguntas pertinentes al tema podrían ser hechas: ¿Se debe manejar los cultivos (rotación de cultivos x monocultivo) para reducir o aumentar la cantidad de enfermedad? ¿Cuál es la intención, convivir indefinidamente con los patógenos (monocultivo), o no (rotación)?

El ciclo de las enfermedades en una estación agronómica anual, termina cuando el patógeno coloniza las infrutescencias y finalmente infecta las semillas. Conviene recordar el principio de que en la naturaleza los patógenos intentan no separarse de su hospedante, principal fuente nutricional por sustrato; debido a que una vez separados podrían correr el riesgo de morir por desnutrición. Por lo tanto, la manera más segura de garantizar el acceso al sustrato es mantenerse asociados a las semillas. Semillas infectadas sembradas con tratamiento o con fungicidas poco eficaces que no logren la erradicación, no cortan el ciclo de vida del parásito (Reis *et al.*, 1999). Este principio es semejante y válido para enfermedades de origen bacteriano. Un ejemplo que analiza y resalta la importancia epidemiológica de la transmisión de patógenos y el control químico en semillas, fue desarrollado recientemente en cebada para *D. teres* (Carmona *et al.*, 1999a).

Los fitopatólogos precisan reconocer la importancia del inóculo asociado a las semillas en la continuidad del ciclo vital de los patógenos. Trabajos que informan la "microflora asociada a la semilla", no presentan un valor práctico para el control de las enfermedades. Esta contribución, si bien es importante para determinar la prevalencia de los patógenos en la semilla de cada país, zona o localidad, no es suficiente para conocer el potencial de daño por el uso de semilla infectada o para el manejo de enfermedades de semilla, lo cual sólo puede determinarse mediante ensayos de transmisión en invernáculo y a campo. Consecuentemente, se necesita mayor investigación para establecer el impacto que generaría el adecuado manejo sanitario de la semilla a través del estudio de la transmisión y control.

Se pregunta: ¿Cuál es la relación de los hongos asociados a la semilla con el desarrollo de las epidemias en los órganos aéreos y los daños consecuentes?. Este cuestionamiento debería ser hecho de manera más frecuente por los investigadores. Existe una relación entre la presencia de los patógenos en semilla con el inicio y desarrollo de epidemias en los órganos aéreos de un determinado cultivo. Coincidentemente los patógenos que causan manchas foliares, cancros, antracnosis, pudriciones del tallo y de la espiga, son siempre los mismos asociados a semilla. Otra coincidencia es que donde se cultiva una especie vegetal siempre ocurren las manchas foliares, cancros y antracnosis. ¿Es el viento el responsable de traer el inóculo a kilómetros de distancia o es consecuencia de la transmisión eficiente del patógeno en la semilla a la plántula o del tratamiento ineficiente de semillas?

4.2.2. Tratamiento con fungicida

Las semillas deben ser tratadas con fungicidas para no introducir el inóculo en los cultivos.

Un tratamiento de semillas con fungicida se considera eficiente cuando se logra la erradicación del o los patógenos objeto de control. La eficiencia depende de la incidencia de la semilla, o sea, cuanto más elevado sea el porcentaje de infección, menor será la eficiencia de control, y contrariamente, cuanto menor sea la incidencia, mayor será la posibilidad de eliminar el inóculo. La eficiencia depende de la potencia del fungicida, de la dosis empleada y de la calidad de cobertura de la superficie de semilla. En general la erradicación de los patógenos ha sido más fácilmente lograda en cereales de invierno y maíz, pero parece más difícil de obtenerla en especies leguminosas.

Además del control de patógenos asociados a la semilla, el tratamiento con fungicidas puede proteger a las plántulas contra el ataque de hongos del suelo y de aquellos que ataquen la parte aérea, como por ejemplo los agentes causales del oidio y de la roya de la hoja del trigo.

El tratamiento de semillas con fungicidas es una práctica de bajo costo y de gran impacto en el desarrollo de epidemias. Esta práctica usada con la rotación

de cultivos permite mantener las epidemias causadas por parásitos necrotróficos por debajo del umbral de daño económico (UDE) contribuyendo a la sustentabilidad de la actividad agrícola.

4.3. Control cultural

Según Rotem & Palti (1980), los principios que fundamentan el control cultural son tres: a) supresión del aumento y/o destrucción del inóculo existente; b) escape de los cultivos al ataque potencial del patógeno; c) regulación del crecimiento de la planta direccionado a una menor susceptibilidad.

El potencial del control cultural o por prácticas culturales, está directamente relacionado con la oportunidad de manejo de las condiciones de crecimiento de la planta.

Las principales prácticas culturales involucradas en el control cultural son: rotación de cultivos, manejo del suelo y los restos culturales, población adecuada de plantas, riego, abonos verdes, compost, fertilización del suelo, época de siembra, y profundidad de siembra (Rotem & Palti, 1980); (Watkins & Boosalis, 1994); (Reis & Forcelini, 1995); (Bailey, 1997).

La rotación de cultivos, la práctica más antigua en el control de enfermedades y de plagas (Cook & Veseth, 1991), continua siendo la más eficiente entre los métodos culturales de control. En el Brasil, mayor énfasis se ha puesto en el control de enfermedades por la rotación de cultivos en los cereales de invierno (Reis & Santos, 1983; Reis *et al.*, 1997*a*; 1997*b*).

4.3.1. Rotación de cultivos

La práctica de controlar enfermedades por la rotación de cultivos es la menos agresiva al ambiente, siendo por eso la que más contribuye a la sustentabilidad ecológica de la agricultura, permitiendo el desarrollo y expansión del sistema de siembra directa.

Conceptos y Principios

Desde el punto de vista fitotécnico, la rotación de cultivos constituye una alternancia regular de diferentes cultivos en una misma área. Esa combinación debe ser efectuada de acuerdo con un planeamiento adecuado, en el cual deben ser considerados diversos factores, entre ellos el cultivo predominante de la región entorno del cual será programada la rotación, además de los factores del ambiente que influirán en los cultivos seleccionados para que integren el sistema (Santos *et al.*, 1983).

Según Derpsch (1985), la rotación de cultivos puede ser definida como una alternancia ordenada de diferentes cultivos, en un espacio de tiempo, en un mismo campo, obedeciendo a finalidades definidas, donde una especie vegetal no

es repetida en el mismo lugar con un intervalo menor de dos y si fuera posible tres o más años.

Por otro lado, desde el punto de vista fitopatológico, la rotación de cultivos consiste en la siembra de una misma especie vegetal en un mismo campo, en una misma estación de cultivo, donde los restos culturales del cultivo anterior fueron eliminados biológicamente. En esta situación el rastrojo fue eliminado por la acción de descomposición de los microorganismos del suelo; fueron biológicamente degradados de tal manera que el inóculo fue eliminado o mantenido por abajo del umbral numérico de infección. Contrariamente, monocultivo consiste en el cultivo de la misma especie vegetal, en el mismo campo, donde están sus propios restos culturales (Reis & Casa, 1996; Carmona, & Reis, 1998).

Muchas veces, se confunde el significado de los términos sucesión y rotación de cultivos. Conceptualmente, la sucesión de cultivos es una secuencia preestablecida de cultivos dentro de un mismo año o campaña agrícola. El cultivo de trigo, por ejemplo, después de la soja, a lo largo de dos años es considerado como una sucesión de cultivos y no como una rotación. En este sistema se obtiene monocultivo de trigo en invierno y monocultivo de soja en el verano. Otro sistema ampliamente usado en Brasil es el cultivo de maíz o de poroto "safrinha". En las regiones brasileñas donde no ocurren heladas, el cultivo de maíz esta sustituyendo al trigo en el invierno debido al precio bajo pagado al productor de trigo. El cultivo de maíz en el invierno, es llamado maíz "safrinha". En esta situación, en algunos casos, la misma especie vegetal está siendo cultivada en sucesión en el mismo año agrícola; sería un ejemplo de sucesión de la misma especie vegetal o un doble monocultivo anual. En este último caso el manejo de los cultivos en "safrinha" puede determinar la máxima intensidad de una enfermedad.

El principio del control de enfermedades involucrado en la rotación de cultivos es la supresión o eliminación del sustrato apropiado para el patógeno. Bajo este punto de vista la rotación de cultivos constituye también una medida de control biológico. El efecto principal de la rotación de cultivos se relaciona con la fase de supervivencia del patógeno (Curl, 1963).

En esta fase, los patógenos son sometidos a una intensa competencia microbiana, durante la cual, generalmente llevan desventaja. Asimismo sufren el riesgo de no encontrar al hospedante, lo que determina generalmente su muerte por desnutrición. Esto ocurre en el período comprendido entre dos cultivos de una planta anual, durante la fase saprofítica.

La rotación de cultivos durante una estación de cultivo, puede controlar a los patógenos que sobreviven en los restos culturales y que no posean estructuras de resistencia como esclerocios, clamidosporas y oosporas. Para estos hongos es necesario un período mayor de rotación y principalmente, el desarrollo de las supresividad del suelo.

¿Cuándo un cultivo debería ser cultivado en un mismo lote?

En el control cultural de enfermedades, una especie vegetal solamente debería ser cultivada en un mismo lote cuando la densidad de inóculo del patógeno objeto de control estuviera por debajo del umbral numérico de infección.

Para determinar el intervalo de cultivos se debe tener conocimientos sobre el rango de hospedantes del patógeno, sus mecanismos de supervivencia, así como también es necesario cuantificar el período de descomposición de los restos culturales (fase saprofítica) y del período de viabilidad de las estructuras de resistencia de los patógenos.

Un ejemplo ocurre con el agente causal del pietín *Gaeümannomyces graminis* (Sacc.) Arx. & D.Olivier, que sobrevive en el suelo asociado a los restos culturales, principalmente, en los tejidos de la corona de la raíz de planta susceptibles (Reis, 1989). Si el trigo o la cebada dejaran de ser cultivados en el mismo lote, tal patógeno sería incapaz de parasitar la soja, avena, arveja, siendo por lo tanto dependiente de los restos culturales del centeno, cebada, trigo y triticale. Cuando se deja un invierno sin sembrar trigo, cultivándose en el medio por ejemplo la avena, pasarán 18 meses, tiempo suficiente para la mineralización de los rastrojos. Esta enfermedad sólo es importante bajo monocultivo de plantas susceptibles. El pietín es controlado por la rotación de uno y de dos inviernos. El monocultivo, por otro lado, realimenta al hongo cada 6 o 7 meses, tiempo requerido para que el trigo vuelva a ser cultivado en la misma área (Reis & Casa, 1997).

Otro ejemplo es el agente causal de la pudrición común de raíces, *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker. Este hongo se multiplica parasitariamente en la planta viva y saprofíticamente en los restos culturales de trigo, centeno, cebada y triticale resultando una adición del inóculo al suelo. Después de la descomposición del rastrojo el hongo todavía puede sobrevivir como conidios libres en el suelo, los cuales permanecen en dormición bajo el efecto de fungistasis por un período de hasta 37 meses (Reis, 1985). Queda claro que además de multiplicarse en los restos culturales, este hongo puede, después de la mineralización, mantener la viabilidad por un período extra. A pesar de eso, la pudrición de raíces ha sido también manejada con un intervalo de un invierno de rotación (18 meses ocurren desde la cosecha hasta la nueva siembra del cereal de invierno) con especies alternativas no susceptibles (Reis & Casa, 1997). Sin embargo, en este período el patógeno no pierde completamente la viabilidad, y hay indicios de que la densidad de inóculo es mantenida por debajo del umbral numérico de infección (Casa & Reis, 1990).

En la tabla 4 (página 286) se demuestra la eficiencia de la rotación de cultivos, con un intervalo de 1 o más inviernos, en reducir la severidad de las pudriciones radiculares del trigo. En los sistemas donde el trigo dejó de ser cultivado bajo monocultivo se observa en la media de los 6 años de evaluación una reducción dos veces mayor en la severidad de las pudriciones radiculares.

Los mismos principios de control de las pudriciones de raíz pueden ser aplicados al control de los agentes causales de manchas foliares, cancro, antracnosis, pudriciones del tallo y de la espiga causada por parásitos necrotróficos.

Tabla 4

Efectos de sistemas de rotación de cultivos en la severidad de enfermedades del sistema radicular de trigo bajo siembra directa.

Sistemas de rotación	Año						Media
	1987	1988	1989	1990	1991	1993	
Sistema I[1]	56a	12	50a	33a	32a	50a	39a
Sistema II[2]	9b	9	14b	9b	21ab	7b	12b
Sistema III[3]	8b	9	10b	11b	9c	7b	9b
Sistema IV[4]	9b	9	15b	11b	15bc	8b	11b
Media	21	10	22	16	19	18	18
C.V.(%)	23	19	22	23	18	35	

Fuente: Modificado de Santos et al., (1998)

[1] Sistema I: trigo / soja (monocultivo); [2] Sistema II: trigo/soja y arveja/maíz o avena/soja; [3] Sistema III: trigo/soja, lino/soja o avena blanca y arveja/maíz; [4] Sistema IV: trigo/soja, avena blanca/soja, cebada/soja y trébol/maíz. Medias seguidas por la misma letra, en vertical, no representan diferentes significados. En el nivel de 5% de probabilidad, por el test de Duncan.

Relación entre rotación de cultivos y supresividad del suelo

Un suelo supresivo a los patógenos fue definido por Baker & Cook (1974) como aquél en el cual el patógeno no puede establecerse; o el patógeno se establece pero no posee potencial para causar enfermedad; o se establece y causa inicialmente enfermedad, y finalmente la misma disminuye la intensidad bajo monocultivo del hospedante, en un período largo. Por lo tanto, en un suelo supresivo los microorganismos presentan potencial de suprimir el crecimiento, la multiplicación o el parasitismo principalmente de hongos infectantes de raíces. Este es un fenómeno natural que puede ser estimulado por el aumento de la actividad microbiana del suelo. El aumento de la calidad y cantidad de microorganismos deseables puede ser obtenida por la incorporación de compuestos orgánicos en el suelo o por la rotación de cultivos.

La mayoría de los casos publicados de supresividad del suelo se refieren a su ocurrencia bajo monocultivo. Pero la manera más práctica y económica de manejar la supresividad es a través de la rotación de cultivos.

La rotación de cultivos puede llevar a la reducción de inóculo de un determinado patógeno debido a: a) eliminación de sustrato determinando la muerte del patógeno por inanición y b) la selección o el aumento de la población de una

especie o grupo de microorganismos antagonistas al hongo patógeno a través de las especies vegetales alternativas cultivadas. En este último caso, los mecanismos de reducción o eliminación del inóculo pueden ser atribuidos a la antibiosis, competencia y predación (Deacon & Berry, 1993).

El agente causal de la Rhizoctoniosis, *Rhizoctonia solani* Kühn, sobrevive en el suelo saprofíticamente presentando una amplia gama de hospedantes, como plantas nativas, invasoras y cultivadas. Tal hongo es un habitante del suelo con alta habilidad de competencia saprofítica, siendo de difícil control a través de la rotación de cultivos. Las estrategias de control en áreas extensas de cultivo se deben concentrar en el desarrollo de la supresividad del suelo. Por ejemplo, en el caso de la soja, la supresividad podría ser aumentada por la calidad y cantidad de materia orgánica incorporada al suelo. En este caso la rotación de cultivos de soja con maíz en el verano, intercalada con avena en el invierno, posibilita diversificar la calidad del sustrato y la siembra directa aumentar su cantidad.

Un ejemplo de sucesión de cultivos para mejorar la calidad de materia orgánica con consecuencias en la reducción de la intensidad de la Rhizoctoniosis y de la pudrición del tallo de la soja, es el cultivo de avena en el invierno antecediendo a la leguminosa (Derpsch & Calegari, 1985).

El hongo *Sclerotium rolfsii* Sacc., habitante natural del suelo, es de difícil control por la rotación de cultivos, pues presenta una amplia gama de hospedantes, además de que satisface sus requerimientos nutricionales a través de la supervivencia saprofítica en los restos culturales en descomposición (Punja, 1985). Bajo el sistema de siembra directa la totalidad de los restos culturales permanecen en la superficie del suelo después de la cosecha. En esa condición, el hongo puede mantener su viabilidad y dar inicio al parasitismo en nuevas plantas. Aún así en el cultivo de soja en Brasil, no se ha observado aumento de la pudrición causada por *S. rolfsii.* Probablemente la supresividad del suelo atribuida a la rotación de cultivos, sea la responsable del control aún cuando el mecanismo involucrado todavía no fue esclarecido.

Otro ejemplo de patógeno de difícil control es el hongo *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *phaseoli* (Burk.) Snydeer & Hansen que causa pudrición seca del poroto. Este patógeno también es un habitante del suelo viviendo saprofíticamente en los restos culturales pudiendo además, sobrevivir en el suelo por muchos años en la forma de clamidosporas y colonizar raíces de plantas no hospedantes sin causar síntomas secundarios (Menzies, 1963; Hall, 1994). Según Zambolim *et al.*, (1997a), la rotación de cultivos con plantas de la familia de las gramíneas con un período de 4 a 5 años puede reducir la población del hongo en el suelo. En este caso, aún con un período largo de rotación la población del hongo puede ser reducida pero no eliminada del lote. Se debe enfatizar que los hongos habitantes del suelo son difícilmente eliminados por las prácticas culturales. Sin embargo, es posible lograr una reducción poblacional considerable. Dependiendo del manejo del

cultivo y de las condiciones ambientales se pueden manifestar con menor o mayor intensidad. El manejo debe priorizar la reducción de la población del patógeno a una densidad de inóculo que no cause daños al cultivo. El desarrollo de la supresividad del suelo debería ser prioritario en la investigación para este patosistema.

En el caso de la soja una de las pudriciones radiculares más importantes es el síndrome de la muerte súbita causada por *F. solani* f. sp. *glycines* Roy. Esta enfermedad ha aumentado en frecuencia e intensidad. La estrategia de control ha sido basada principalmente, en el desarrollo de cultivares resistentes o tolerantes pero todavía con poco éxito. En este patosistema también deberían destinarse esfuerzos para el estudio del desarrollo de la supresividad del suelo.

Relación entre Siembra Directa y Rotación de cultivo

En general la intensidad de las enfermedades de las plantas causadas por agentes necrotróficos es mayor bajo siembra directa y monocultivo. Este aumento se debe a la mayor disponibilidad de inóculo y de su proximidad con las plántulas de la nueva siembra. Por eso, la siembra directa es incompatible con el monocultivo (Carmona & Reis, 1998). Es importante tener en cuenta que la rotación de cultivos elimina este inconveniente de la siembra directa.

Los daños causados por el hongo *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary pueden ser reducidos con la práctica de siembra directa bajo rotación de cultivos. Nasser & Sutton (1993) observaron una reducción en la intensidad de la enfermedad en el cultivo de poroto atribuida a una barrera mecánica propiciada por la paja de arroz que dificultaba la liberación del inóculo en el aire. Karl citado por Karl *et al.*, (1997) constató que la siembra directa de poroto sobre paja de arroz permitió una reducción del 43% en la viabilidad de los esclerocios y del 20% en la siembra sin paja de arroz. Esta pérdida de viabilidad puede estar relacionada con la humedad, temperatura y cantidad y calidad de microorganismos del suelo. En otro estudio Reis et al (datos no publicados) demostraron en experimentos conducidos a campo que los esclerocios del hongo mantenidos en la superficie del suelo simulando la siembra directa con poca paja en la superficie perdieron la viabilidad en un período de 15 meses, comparados con aquellos esclerocios enterrados en el suelo a 10 cm de profundidad que la perdieron en 36 meses. Estos datos indican que los esclerocios en la superficie del suelo encontraron condiciones favorables para la germinación lo que determinó la pérdida de su viabilidad, mientras que los que estaban enterrados no encontraron esas condiciones permanecieron en dormición hasta que fueron traídos al laboratorio y sometidos a condiciones ideales (luz, temperatura y humedad) donde germinaron.

Los mecanismos discutidos en esta sección deben ser esclarecidos de mejor manera para que puedan ser utilizados en los sistemas de producción de cultivos. De esta forma la pudrición húmeda del tallo de la soja podría ser controlada por

la rotación de cultivos bajo siembra directa estudiando la barrera física de la paja a la diseminación del patógeno o generando condiciones de germinación del esclerocio en ausencia del hospedante.

Rotación y sucesión de cultivos.

Además de los aspectos de rotación de cultivos se debe tener en cuenta el manejo de las enfermedades y su relación con la sucesión de cultivos. Por ejemplo, la soja cultivada en rotación y en sucesión, principalmente, al nabo forrajero (*Brassica napus*) y la vicia (*Vicia faba*) bajo siembra directa, ha presentado daños económicos debido al ataque de *S. sclerotiorum.*

Estas dos especies de plantas son susceptibles al patógeno, por lo tanto, en esta secuencia de cultivos la rotación es ineficiente para controlar al hongo. La rotación y la sucesión de cultivos recomendada para el control específico de esta enfermedad debe incluir necesariamente a las gramíneas. En el caso del poroto, puede ocurrir este mismo proceso.

Otro ejemplo es el cultivo de maíz, bajo siembra directa sembrado sobre los restos culturales de trigo y cebada en años con epidemia de fusariosis, lo que puede determinar una mayor incidencia de la pudrición de la base del tallo y de la espiga causada por *Gibberella zeae* Schw.

En el cultivo de maíz en el sur de Brasil, también se ha observado un aumento de la intensidad de la pudrición del tallo causada por *Colletotrichum graminicola* (Ces.) G. W.Wils. Es de destacar que el hongo causante de la antracnosis del maíz también ataca los cereales de invierno, como por ejemplo centeno, cebada, trigo y triticale. Por lo tanto, el cultivo de maíz en sucesión a los cereales de invierno, puede proporcionar mayores daños de antracnosis (Casa *et al.*, 2000). Otro ejemplo ocurre con el ya mencionado maíz "safrinha". En los casos en los que el maíz "safrinha" fuera sembrado sobre los restos culturales de maíz del cultivo normal de verano, resultaría en un aumento en la intensidad de las enfermedades (Reis & Casa, 1996). Hecho semejante ocurre con la soja en Bolivia

Especies vegetales para la rotación de cultivos

La elección de los cultivos para que integren un sistema de rotación depende de factores técnicos y económicos. Dentro de los factores técnicos se pueden citar: la adaptación de los cultivos a la región incluyendo el riesgo de inversión; el aspecto fitosanitario con relación al control de enfermedades (no debería ser susceptible al patógeno en cuestión) y al de plagas; la posibilidad del cultivo de convertirse en maleza en los cultivos subsiguientes o, contrariamente la posibilidad de permitir su control; el valor de la tecnología disponible para el cultivo; la disponibilidad de equipamiento y la mano de obra necesaria para su explotación (Santos *et al.*, 1983). Entre los factores económicos básicos estarían aquellos relativos al costo de pro-

ducción; seguridad de mercado y la disponibilidad de crédito para su producción.

Una especie vegetal para integrar un sistema de rotación, no puede ser hospedante de los mismos patógenos del cultivo a ser explotado. Generalmente, las especies de hojas anchas pueden ser alternativas para integrar un sistema de rotación con gramíneas y viceversa. En el caso de los cereales de invierno, en el sur de Brasil, se pueden cultivar como alternativa a la arveja, achicoria, leguminosas, tréboles y colza. Las avenas representan las principales especies recomendadas como alternativas para el trigo, para la cebada y para el triticale.

De manera general, rotaciones con colza, lino, avena , han resultado exitosas en el control de las enfermedades foliares de los cereales de invierno. La cebada cervecera y el trigo son hospedantes comunes de uno o varios patógenos y por lo tanto no son alternativas para su uso en la rotación de cultivos (Reis & Wunnsche , 1984; Reis & Baier 1983). Sin embargo, para las condiciones argentinas donde *B. sorokiniana,* el pietín y la Fusariosis no afectan severamente a la cebada de dos hileras (Carmona, 1994; Carmona & Barreto, 1995) resulta muy interesante realizar rotaciones con trigo / cebada (Carmona & Reis, 1998). Contrariamente en Brasil, Paraguay y Uruguay, donde principalmente *B. sorokiniana* es un importante patógeno, esta rotación debería descartarse. Asimismo, para el caso del centeno, se demostró, que al contrario de las avenas, determinó un mayor aumento de la población de *B. sorokiniana* en el suelo. Por esta razón, se concluyó que el centeno, por ser susceptible al hongo, no debe integrar el sistema de rotación para el trigo (Reis & Baier, 1983).

La rotación de cultivos puede también, en algunas situaciones, controlar al virus del mosaico del trigo, ejerciendo el efecto sobre el vector (Reis *et al.*, 1985).

Las especies de plantas alternativas para que integren un sistema de rotación de cultivos, además de no ser susceptibles al patógeno objeto de control, no deben servir de hospedante residente, siendo ideal la posibilidad de que permita una selección o un aumento poblacional de una especie de microorganismo antagonista. Esto significa la búsqueda de la supresividad del suelo.

4.3.2. Aumento de la materia orgánica en el suelo

Es significativo el efecto de la materia orgánica en la dinámica poblacional de microorganismos en el suelo y, consecuentemente, sobre el potencial de inóculo y sobre el equilibrio poblacional de fitopatógenos causantes de pudriciones radiculares y de la base del tallo de las plantas. La calidad y cantidad de materia orgánica incorporada al suelo determinará el aumento de la densidad de una, o de varias especies de microorganismos seleccionadas por este sustrato. En el caso que la especie beneficiada sea antagónica de un fitopatógeno objeto de control, los daños provocados a los hospedantes podrían ser minimizados. Consecuentemente, el manejo de la población microbiana del suelo, por el sustrato, es fundamental en el control cultural de fitopatógenos infectantes de raíces.

El manejo de materia orgánica en el suelo puede ser realizado de diferentes maneras. La adición de materia orgánica al suelo ha sido llevada a cabo más frecuentemente a través de los abonos verdes, compost, cama de ave, estiércol de suinos estabilizado y por el uso de sistema de siembra directa. También se puede incorporar al suelo buscando aumentar la actividad microbiana, estiércol de corral, cáscaras de frutos forestales, rezagos de caña de azúcar, cáscaras de arroz, polvo de concha marina, urea, superfosfato de calcio, ceniza mineral y compuesto de cloacas municipales (Summer, 1994).

El uso correcto de un compost (en la fase de estabilización, la temperatura del material debe alcanzar 70 a 75ºC por la actividad de microorganismos quimiorganotróficos que oxidan la materia orgánica generando calor, que favorecerán a microorganismos termofílicos e inactivará a los patogénicos, Hointink & Fahy, 1986) ha sido recomendado para el control de enfermedades radiculares causadas por hongos y nematodes de cultivos intensivos en invernáculo.

La manera más práctica y económica de mejorar la calidad, aumentar y conservar el tenor de materia orgánica en el suelo independientemente de la extensión del área cultivada, es a través del sistema de siembra directa y la rotación de cultivos. La calidad de materia orgánica puede ser manejada por la rotación de cultivos de diferentes especies vegetales. La siembra directa consiste en realizar la siembra directamente en el suelo sin ningún movimiento de tierra. En esta situación no son empleados arados ni rejas. La totalidad de los restos culturales del cultivo anterior permanecen en el superficie de suelo, siendo descompuestos lentamente por los microorganismos, lo que determina un aumento lento del tenor de materia orgánica a lo largo de los años y, consecuentemente, un incremento de la actividad microbiana. Paralelamente, ocurren mejorías en las propiedades físico-químicas del suelo.

4.3.3. Nutrición mineral de plantas

El estado nutricional de la planta puede favorecer o limitar el proceso de infección o de colonización de los patógenos infectantes de raíces.

Los efectos de nutrición de las plantas sobre enfermedades fueron estudiados detalladamente por Huber (1990) y Zambolin & Ventura (1996). Como uno de los componentes principales del ambiente, los nutrientes minerales, determinan la resistencia o susceptibilidad de la planta a la enfermedad y a la virulencia y habilidad del patógeno para sobrevivir. La inmovilización de nutrientes necesarios para la síntesis de barreras físico-químicas o la reducción de la concentración de los elementos alrededor de los sitios de infección pueden tornar susceptible a la planta a una determinada enfermedad; por otro lado la resistencia podría ser debida a la ausencia de nutrientes esenciales para la actividad patogénica (Huber, 1994).

Entre los principales mecanismos que involucran a los nutrientes minerales en el control de enfermedades causadas por patógenos, merecen destacarse:

a) Aumento de la tolerancia: según este mecanismo las plantas bien nutridas con fósforo y nitrógeno pueden sustituir eficientemente las raíces de caña de azúcar y trigo destruidas por *Pythium.* El mismo hecho ocurre en trigo cuando el mismo es parasitado por *G. graminis* f. sp. *tritici.*
b) Evasión: algunos nutrientes pueden llevar a la evasión en función del desarrollo y madurez de determinados órganos. El rápido crecimiento de brotes puede facilitar la evasión de ciertas enfermedades de vivero. En poroto, el hongo *R. solani,* tiene preferencia por los tejidos jóvenes. La resistencia en esos tejidos aumenta con el contenido de sustancias pécticas y de calcio en el hipocótile.
c)Fisiología de la resistencia: La severidad del marchitamiento causado por *F. oxysporum* Schlechtend.: Fr. f. sp. *lycopersici* (Sacc) Snyder & Hansen, ha sido asociada a la deficiencia de calcio. La aplicación de calcio ha demostrado que puede controlar la enfermedad en condiciones experimentales. Se admite que el calcio inhibe la actividad de la poligalacturonasa producida por *Fusarium* y así, influyen en el estado de marchitamiento causado por la descomposición de sustancias pécticas en el hospedante. El calcio puede también reducir en la membrana celular del hospedante, la cadena electrolítica inducida por el patógeno.
d) Efecto sobre el patógeno y reducción de la virulencia: En el caso de *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* se sabe que el NH_4^+ estimula la formación de clamidosporas, aumentando la densidad de inóculo en el suelo. La formación de clamidosporas de *F. oxysporum* es inhibida por NO_3^- en tanto que la urea o el Cl NH_4^+ reducen el fenómeno de lisis. Se encuentra disponibles en el mercado formas nítricas y amoniacales de fertilizantes nitrogenados. En los casos arriba citados y en aquellos otros en que las formas de nitrógeno tienen efecto sobre los patógenos, las enfermedades pueden ser manejadas buscando la reducción de daños a través de la elección de la forma de nitrógeno.

Con relación a las enfermedades de parte aérea, como por ejemplo, las pudriciones del tallo en maíz y el cancro del tallo de la soja, sus intensidades pueden ser reducidas por el uso de fertilizantes en cantidad suficiente y equilibrada. En el caso del maíz, las pudriciones son más severas cuando hay una elevada población de plantas, lo que determina una mayor competencia por agua y nutrientes asociada a la falta o al desequilibrio de N y K (Shurtleff, 1992; Reis & Casa, 1996). En soja, la falta o desequilibrio de potasio predispone a las plantas el ataque del hongo causante del cancro del tallo (Yorinori, 1990).

El manejo de enfermedades de los órganos aéreos a través de los fertilizantes aplicados al suelo o fertilización foliar no presenta la misma eficiencia respecto a las prácticas que buscan la reducción del inóculo en sus fuentes.

4.3.4. Manejo del pH del suelo

La reacción del suelo puede también interferir en el desarrollo de enfermedades radiculares, como por ejemplo, a través de la alteración del pH. El manejo del pH del suelo ha sido generalmente hecho sobre suelos ácidos, a través del empleo de sustancias correctoras como calcáreos. Por otro lado, suelos alcalinos pueden ser acidificados por el uso de yeso agrícola. Dependiendo de la formulación, los fertilizantes químicos nitrogenados, pueden también alterar el pH del suelo, pero en menor intensidad.

La hernia de las coles, causada por el hongo *Plasmodiophora brassicae* Woronin, es un ejemplo clásico del manejo del pH del suelo, buscando el control de la enfermedad. La incidencia de esta enfermedad es reducida por la corrección del suelo con calcáreo elevando el pH del suelo por encima de 6,8. Los efectos son atribuidos no solamente al aumento del pH, sino también al contenido de calcio en el suelo (Huber, 1994).

También sirve de ejemplo el pietín del trigo que es más severo en suelos con pH próximo a la neutralidad. En general con pH < 5,0 la incidencia de la enfermedad es muy baja, por eso cuando los suelos ácidos son corregidos con el agregado de calcáreo, hay un aumento de pH, y consecuentemente, aumento de la intensidad de la enfermedad. En la tabla 5 se pueden visualizar los efectos del uso de calcáreo y del sistema de manejo de suelo en la incidencia de pietín (Reis & Santos, 1983). El manejo correcto de esta enfermedad debería ser realizado por la rotación de cultivos y no por la reducción de las dosis de calcáreo ni por el uso de siembra convencional. Por lo tanto el aumento de la enfermedad constatado en este trabajo debido a la siembra directa y al uso de calcáreo puede ser evitado con el uso de rotación de cultivos de trigo con especies alternativas, no susceptibles, como por ejemplo las avenas. La mayor incidencia en siembra directa se debe a la presencia de los restos culturales infectados provenientes del monocultivo. Los efectos del uso o no del calcáreo se reflejan en el pH del suelo.

Tabla 5

Efectos calcáreos y de los sistemas de manejo del suelo bajo la incidencia de Pietín en monocultivo de trigo.

Sistemas de manejo del suelo	Incidencia (%)		Media
	Sin calcáreo	Con calcáreo	
Siembra directa	10,2	36,0	23,1a
Labranza convencional	7,6	6,4	7,0b
Media	8,8b	21,2a	

Fuente: Reis & Santos (1983)

Medias seguidas por la misma letra minúscula en vertical y minúscula en la horizontal no difieren entre sí por el Test de Duncan en un 5% de probabilidad.

* Calcáreo aplicado tres años antes.

4.3.5. Preparación del suelo

La práctica de preparación del suelo, por arados, cinceles y otros implementos de labranza, generan numerosos cambios físicos en el ambiente del suelo, como por ejemplo en la aeración, compactación, y en los potenciales de agua y de temperatura. Estos cambios tienen un impacto sobre la supervivencia y la actividad de los patógenos, en la susceptibilidad de las plantas y en la prevalencia de otros microorganismos (Bailey, 1997).

La práctica de laborear el suelo contribuye a la "dilución" del inóculo de los patógenos en el perfil del suelo y por eso en los cultivos que le siguen a una arada profunda, se observa una reducción de la intensidad de las enfermedades. Actualmente, con la adopción del sistema de siembra directa, la práctica de arar el suelo deja de tener valor práctico en este aspecto.

Negativamente, la preparación del suelo dispersa el inóculo en toda el área del cultivo y reduce los contenidos de materia orgánica, disminuyendo la supresividad del suelo. Un buen ejemplo de dispersión del inóculo en función de la remoción del suelo ocurre con el nematode del quiste de la soja.

La mayor influencia de la preparación del suelo es sobre la dinámica de la población de los patógenos infectantes de raíces asociados a los restos culturales. Las prácticas que generan un ambiente favorable a la supervivencia de los patógenos y que concentran el inóculo en las proximidades de los sitios de infección del hospedante, aumentan el potencial destructivo de la enfermedad. Sirve de ejemplo para este caso, la siembra directa con monocultivo para el sistema pietín-trigo.

Los restos culturales dejados en la superficie del suelo pueden alterar el contenido de agua, la temperatura, aireación, densidad, contenido de materia orgánica, nutrición y la composición de los niveles poblacionales de microorganismos del suelo. Tales alteraciones pueden afectar el modelo de crecimiento y la configuración de las raíces e indirectamente, la severidad de las enfermedades radiculares. En general las raíces superficiales están más sujetas a la infección debido a la mayor concentración de inóculo en la capa superficial del suelo de 5 a 10 cm (Watkins & Boosalis, 1994).

La intensidad de las pudriciones radiculares causadas por *Pythium,* un hongo habitante del suelo, es poca afectado por las prácticas de preparación del suelo porque este patógeno puede sobrevivir por varios meses como oosporas libres en el mismo.

La compactación del suelo es una consecuencia de la mecanización de la agricultura. El suelo se compacta por el tránsito de máquinas durante las operaciones de preparación del suelo, siembra, cosecha y otras actividades.

Sin embargo, aunque la compactación del suelo está directamente relacionada con las operaciones de preparación del suelo, la misma puede ocurrir también bajo un sistema de siembra directa, principalmente en los casos en que la siem-

bra y la cosecha son hechas con suelo muy húmedo y en suelos con textura arcillosa. La compactación influye en la supervivencia y en la distribución del inóculo de los patógenos infectantes de raíces. La capacidad de las raíces para penetrar el subsuelo no trabajado o el pie de arado puede ser afectada por los patógenos radiculares. Raíces del poroto infectados por *F. solani* f. sp. *phaseoli,* presentan capacidad reducida de desarrollarse en suelos compactados, predisponiendo al cultivo a mayores daños (Watkins & Boosalis, 1994).

Tiller *et al.*, (1987), mencionaron que los suelos bajo siembra directa presentan una actividad microbiana muy intensa capaz de suprimir a los nematodes, al compararlos con los suelos de labranza convencional. Desafortunadamente, poco se ha investigado en Brasil y en la Argentina para caracterizar las alteraciones biológicas de suelos bajo el sistema de siembra directa.

Si se considera que en el caso de las manchas foliares, cancros y antracnosis existe una relación entre la cantidad de rastrojo infectado dejado en la superficie del suelo y la intensidad de las enfermedades todas las prácticas de labranza que afecten una cantidad de rastrojo en el suelo tendrán también un efecto sobre estas enfermedades. Como se mostró en la Tabla 1, la intensidad de la mancha amarilla de la hoja fue reducida proporcionalmente a medida que disminuyó la cantidad de residuo dejado en la superficie del suelo.

Las prácticas de remoción del suelo con arado o rejas presentan un elevado consumo de energía y predisponen al suelo a la erosión, comprometiendo la sustentabilidad. Por lo tanto en el MIE, el elemento de preparación del suelo, no debería ser utilizado en detrimento de la siembra directa.

4.3.6. Densidad de Siembra

La densidad de siembra puede ejercer un efecto sobre el micro y mesoclima del canopeo de las plantas. El principal efecto es sobre la duración del mojado de los sitios de infección, que normalmente ocurre en los cultivos más densos. La severidad de la podredumbre húmeda del tallo de la soja, causado por *S. sclerotiorum* fue mayor en líneas con espaciamientos menores que en las mayores (Grau & Radke, 1984). En el caso de la soja la investigación recomienda una densidad poblacional de 25-30 plantas/m2. Sin embargo, en algunos cultivos comerciales se han encontrado poblaciones de hasta 80 plantas/m2. La alta ocurrencia de esta enfermedad en soja se puede relacionar con la alta población de plantas. De esta manera, los daños causados podrían ser reducidos por el manejo de densidad de plantas.

Otro ejemplo del efecto de la población de plantas en el aumento de severidad de *S. sclerotiorum* ocurre en el cultivo de girasol. Hoes & Huang (1985), constataron que la enfermedad fue menos severa con espaciamientos entre líneas de 36 a 47cm. comparado con el de 15 ó 25cm.

En el cultivo de maíz, se le ha dado gran importancia a la población de plan-

tas, intentando maximizar los rendimientos y reducir los problemas ocasionados por pudriciones de tallo y de la espiga. Sin embargo, a medida que se obtienen los mayores rendimientos de granos en los híbridos comerciales con poblaciones de aproximadamente 60.000 plantas/ha, también, se registran en esas altas poblaciones, las mayores incidencias y daños causados por los hongos agentes causantes de pudriciones, (Casa *et al.*, 2000). Lógicamente, hay una necesidad de establecer una relación entre el potencial de rendimiento de una determinada población y la ocurrencia de los daños causados por las pudriciones. Además de la reducción de la producción por la cantidad de granos perdidos por unidad de área, existe una reducción de la calidad del producto cosechado cuando las espigas son atacadas por hongos con la consecuente colonización de los granos, determinando así la ocurrencia de granos ardidos.

Actualmente, se ha estudiado una distribución espacial de las plantas de maíz a campo, a través de la reducción del espaciamiento de hileras de siembra sin alteración de la población de plantas. Esa estrategia puede contribuir a la reducción de la competencia entre plantas y de la incidencia de las pudriciones del tallo y la espiga.

4.3.7. Eliminación de plantas voluntarias y de hospedantes secundarios

La presencia de plantas voluntarias u hospedantes secundarios constituye la principal oportunidad de supervivencia de los parásitos biotróficos y es una opción adicional para los necrotróficos, comprometiendo el éxito de control propiciado con la rotación de cultivos.

La población de plantas voluntarias, tanto de cultivos de invierno como de verano, tienden a aumentar bajo siembra directa. Se cita como ejemplo, la perennización de la avena en el sur de Brasil.

El control parcial de plantas invasoras por prácticas conservacionistas puede garantizar una población suficiente de hospedantes secundarios y de plantas voluntarias para patógenos radiculares. Estas malezas pueden servir de fuente de inóculo primario para la infección de los cultivos susceptibles. Según Helbig & Carrol (1984), el hongo *F. oxysporum,* patogénico del cultivo de soja, fue registrado en 16 de 21 especies de malezas examinadas. En Argentina, numerosos hongos necrotróficos patógenos de cereales de invierno tales como *B. sorokiniana, F. graminearun* y *Rhynchosporium secalis,* fueron aislados de malezas en campos de producción agrícola de la región pampeana, indicando la importancia de estas plantas como fuentes de inóculo (Carmona *et al.*, 1999b).

Otro ejemplo es el caso del raygrass (*Lolium multiflorum* L.) que a pesar de ser un a forrajera de invierno, puede ser una planta invasora en campos de cereales de invierno. Es de destacar que esta gramínea es susceptible a *G. graminis var. tritici.* De esta forma, si esta maleza no es eliminada del cultivo, el patógeno se

mantendrá viable en el suelo, en una densidad de inóculo suficiente para garantizar la continuidad de su ciclo biológico y causar, bajo condiciones favorables, epidemias severas cuando el trigo o cebada vuelva a ser sembrada en ese lote, aún después de un período de rotación.

La colonización de patógenos radiculares en malezas y su supervivencia sobre los residuos de estas plantas, provee un mecanismo adicional para el mantenimiento de la viabilidad del inóculo de año en año.

Si la población de malezas es alta, el potencial del mantenimiento del inóculo del patógeno será mayor. Esta relación será aún más grave e importante, si el cultivo en sucesión fuera sembrado bajo siembra directa en un lote con gran cantidad de residuos de malezas (Watkins & Boosalis, 1994).

Las malezas y plantas voluntarias deberían ser completamente eliminadas a través del manejo correcto de herbicidas, después de la emergencia de las mismas.

4.3.8. Época de siembra

El efecto de la fecha de siembra sobre las enfermedades y en especial sobre las radiculares, es un efecto, principalmente, de la temperatura y de la humedad del suelo. En el sur de Brasil, se recomienda como época de siembra preferencial para el cultivo de maíz, a partir del 15 de setiembre. Sin embargo, algunos productores anticipan esa fecha para evitar estrés hídrico en el período crítico de floración del cultivo y deciden sembrar en el mes de agosto. En esa época, la temperatura del suelo es baja (< a 13 C°) y la humedad alta, lo que favorece el ataque de los hongos *Pythium* y *Trichoderma,* reduciendo la emergencia de las plántulas. Para evitar los inconvenientes de sembrar con baja temperatura y alta humedad, se han realizado en Brasil algunos experimentos a campo que incluyeron el tratamiento de semillas con tiabendazol y captan. En este trabajo se observó una emergencia de 11,6% en el testigo sin tratar y de 64, 6% en la semilla tratada con la mezcla de fungicida sembradas en una fecha con temperaturas frías del 3 de agosto. Por otro lado, en siembra hechas el 5 de octubre, la emergencia de plántulas en el testigo fue de 68,6% y en las tratadas de 91,6%. La diferencia entre la emergencia de 11, 6% respecto al 64,6% en la época fría, y de 68,6% respecto al 91,6% en fecha más cálidas, es atribuida, principalmente, al efecto predisponente de la temperatura del suelo (Casa *et al.*, 1995).

La fusariosis de los cereales de invierno, es una enfermedad de infección floral dependiente de la temperatura media por encima de los 20°C y de la duración del mojado de las espigas superior a 48hs. (Reis, 1988). Las siembra anticipadas con relación a la época normal puede provocar que la espigazón y la floración ocurran con temperaturas medias por debajo de la ideal para la infección. El mismo principio de control es válido para la roya negra o del tallo (Carmona *et al.*, 2000).

De manera general, la siembras en épocas con clima favorable al desarrollo de las plantas son, en la mayoría de las veces, desfavorables al ataque de patógenos aún cuando el producto cosechado no pueda ser comercializado con los mejores precios. Contrariamente, la búsqueda de siembras en épocas que permitan la obtención de mejores precios en la comercialización de los productos agrícolas, lleva generalmente a realizar la siembra en detrimento del cultivo y favorecer la ocurrencia de los patógenos.

El fenómeno acentuado de la migración del cultivo de hortalizas, desde las regiones tradicionales hacia otras regiones cerradas caracterizadas con siembra en el invierno sin riesgo de heladas y con período seco, (condiciones adversas a las enfermedades) y con mejor calidad del producto y con mejores precios de comercialización, refleja el efecto de la fecha de siembra sobre las enfermedades. El mismo principio se prioriza en las empresas productoras de semillas.

4.3.9. Control por el manejo de la fuente de nutrición

En algunos patosistemas el patógeno requiere la disponibilidad de una fuente de nutrición previa a la infección para iniciar la enfermedad en el hospedante. En ausencia de este sustrato el proceso de patogénesis no puede ocurrir. El hongo *S. rolfsii* sobrevive en forma de esclerocios libres en el suelo, los cuales permanecen viables por varios años (Punja, 1985). Este patógeno exige la presencia de abundante materia orgánica en descomposición, en la superficie del suelo, para infectar a los hospedantes. En maní se ha recomendado el control eficiente de manchas foliares, que deshojan a la planta, como una medida de control alternativa a la pudrición del tallo, ya que las hojas en descomposición favorecen el desarrollo del hongo y el proceso de infección (Backman *et al.*, 1975).

4.3.10. Riego

La suplementación de agua en los cultivos agrícolas puede tener efecto en el desarrollo de patógenos tanto del suelo, como de los órganos aéreos.

El manejo del agua en el suelo puede reducir y/o aumentar la severidad de las pudriciones radiculares en varios cultivos. Por otro lado, el sistema de riego influye directamente en la ocurrencia de enfermedades en los órganos aéreos. Así por ejemplo, el riego por aspersión en los cultivos de trigo pueden favorecer la ocurrencia de *Xanthomonas campestris pv. undulosa* (Carmona *et al.*, 1996).

Los fitopatógenos que atacan los órganos aéreos de las plantas responden a estímulos que son señales de la naturaleza. Los principales estímulos son: la presencia de agua líquida y la temperatura. La interacción de la duración del período continuo de mojado foliar con la temperatura media, determina o no, el establecimiento del parasitismo. Por lo tanto, el riego por aspersión puede generar la presencia de agua líquida en una duración suficiente de tiempo para que ocurra

la infección. Contrariamente, el riego por surco o por goteo no satisfacerían los requerimientos de duración del mojado.

La severidad de la pudrición radicular seca, causada por *F. solani* f. sp. *phaseoli,* puede aumentar bajo condiciones de stress provocado por el exceso de humedad en el suelo y/o por períodos secos prolongados, condiciones que pueden ser favorecidas por la compactación del suelo (Zambolim *et al.*, 1997a).

Una enfermedad importante en el cultivo de soja y del poroto es la podredumbre carbonosa del tallo causada por el hongo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich. Esta enfermedad se manifiesta con mayor frecuencia y mayor intensidad cuando las plantas se encuentran principalmente a partir del estado reproductivo, acompañado de estrés hídrico y de temperaturas elevadas. Este hongo es un habitante del suelo, con habilidad de competencia saprofítica, que sobrevive en el suelo en forma de microesclerocios. Los daños causados pueden ser minimizados en cultivos bajo riego a través del correcto manejo del agua, de modo de evitar el estrés hídrico.

4.3.11. Cultivo de plantas antagónicas para el control de nematodes de las plantas

Existen varias especies de plantas con propiedades antagónicas a los nematodes. El cultivo de estas plantas en el período en que el cultivo principal no es cultivado, abre una posibilidad de su uso en el control de nematodes. El manejo puede ser hecho a través de la siembra, por ejemplo de crotolaria en sucesión al cultivo principal. Esta especie de planta ha sido utilizada con éxito en el control de nematodes del género *Melodogyne* spp. Otra posibilidad consiste en la siembra tardía del cultivo principal precedido por unos pocos meses (dos a tres) del cultivo de una planta antagónica de crecimiento rápido. Además de estas posibilidades, las plantas antagónicas pueden ser cultivadas consociadas con el cultivo principal (Ferraz & Valle, 1997). Estos autores indican que compuestos nematicidas de plantas pueden servir de base para el desarrollo de nuevos nematicidas, menos dañinos al hombre y al medio ambiente.

4.3.12. Quema o eliminación de restos culturales

El principio de control de esta práctica se basa en la eliminación del sustrato nutricional del patógeno . El sustrato está constituido principalmente por los rastrojos y por las plantas voluntarias.

Los restos culturales pueden ser eliminados por: a) quema, b) incorporación en el suelo c) biológicamente por la rotación de cultivos y d) por la remoción de plantas enfermas y los restos culturales infectados. Desde el punto de vista de la sustentabilidad, la quema de los rastrojos puede ser considerada como una medida fitosanitaria condenable ecológica y económicamente, más aún teniendo en cuenta las ventajas que ofrece el sistema de siembra directa.

4.4. Medida complementaria al control de las enfermedades: Aplicación de fungicidas en órganos aéreos

4.4.1. Aplicación química basada en el Umbral de Daño Económico

En los casos en que el nivel de resistencia genética no fuera suficiente para evitar pérdidas económicas causadas por las enfermedades, o bien el tratamiento de semillas y las demás prácticas culturales no reduzcan o eliminen el inóculo de los patógenos, el control químico, vía pulverización en los órganos aéreos es una medida de control emergencial y rápida, a pesar de que aumenta el costo de producción y el riesgo de contaminación ambiental.

En esa situación, la sustentabilidad económica y ecológica solamente podrían ser alcanzadas si la aplicación de fungicidas para el control de una enfermedad especifica es fundamentada en el concepto de Umbral de Daño Económico (UDE).

El concepto de Umbral de Daño Económico (UDE) se expresa como el valor de enfermedad en el cual la pérdida ocasionada equivale al costo de aplicación del fungicida. Los investigadores justifican que la aplicación de fungicida debe ser hecha antes que la epidemia de una enfermedad alcance o exceda el UDE, por lo tanto se sugiere el Umbral de Acción (UDA) como el mejor indicador del momento de aplicación de fungicidas. Este UDA siempre es menor al UDE y para su cálculo se propone sustraer 5 puntos porcentuales al UDE.

Es de destacar que desde el punto de vista económico, tanto la falta como el exceso del uso de fungicidas puede reducir la ganancia de los productores.

A modo de ejemplo, se detallará a continuación las recomendaciones para la aplicación de fungicidas en trigo en la región Sur del Brasil y en Argentina (Recomendaciones, 2000; Carmona *et al.*, 1999c)

• Oidio- *Blumeria graminis f.sp.tritici*

Si está presente la enfermedad en cultivares susceptibles, la pulverización de fungicidas deberá realizarse basado en el cálculo del UDE, utilizando la función de daño: R (kg/ha) = 100-0,372 I, donde R es el rendimiento de granos de trigo e I la incidencia foliar de la enfermedad.

• Roya de la hoja *Puccinia recondita f. sp.tritici*

1) En cultivares que presenten resistencia en planta adulta (RPA), la decisión para determinar el momento de aplicación del fungicida también deber basarse en el UDE según la ecuación que expresa la función de daño : R = 100- 0,307 I

2) Para el control de enfermedades en cultivares susceptibles (S) el UDE debe ser calculado según la función: R = 100 -0,624 I

3) Los cultivares clasificados como resistentes (R) no responden económicamente al control químico.

• Manchas foliares *B. sorokiniana, D. tritici-repentis, Septoria tritici y S. nodorum*

> En Brasil

Las manchas foliares objeto de control son la mancha borrosa, mancha amarilla, y el complejo de la septoriosis. La aplicación de fungicidas para el control de estas manchas debe ser hecha determinando el UDE mediante la función de daño R = 100- 0,63 I.

> En Argentina

Para las condiciones argentinas la mancha amarilla y la septoriosis de la hoja constituyen las manchas foliares más importantes. Para determinar los UDE se deben utilizar las siguientes funciones de daño, para *D. tritici-repentis* y *S. tritici,* respectivamente: kg/ha = 3869 - 58 x S (%) y kg/ha = 100 - 0,84 x S (%), donde S= severidad; (Carmona *et al.*, 1999c;1999d)

4.4.1.1. Cálculo del UDE

El UDE es determinado utilizando como base de cálculo la fórmula de Munford & Norton (1984) modificada para enfermedades:

IE = Cc/(Pp x Cd x Ec), donde,
IE = intensidad de la enfermedad;
Cc = costo del control; aproximadamente US$ 30,00 / ha
Pp = precio de la tonelada de trigo, por ejemplo US$ 110,00
Cd = coeficiente de daño; y
Ec = eficiencia del control del fungicida usado.

Ejemplo de cálculo del coeficiente de daño:
Tomando en cuenta la ecuación generada en el trabajo de Carmona *et al.*, (1999c; 1999d) para mancha amarilla, donde:

. kg/ha = 100- 1,5 S (%)

En este caso el daño causado por la mancha amarilla es de 1,5Kg por cada 1% de severidad Conociendo el rendimiento potencial o esperado de un determinado lote, se calcula por regla de tres simple el Coeficiente de daño para esa situación por ejemplo:
Rendimiento potencial : 3600kg/ha , entonces si para 100Kg le corresponde 1,5; para 3600 : 54

donde el *Cd = 54 kg/ha ó Cd = 0,054 t.*
Ec = aproximadamente 0,70

Sustituyendo estos valores en la fórmula se tiene:
IE = 30,00/ (110,00 x 0,054 x 0,7) =7 S;

En este caso el UDE corresponde a una severidad foliar de la mancha amarilla desde encañazón en adelante de 7. Esto significa que para cada 7% de severidad foliar de *D. tritici repentis* en cultivares susceptibles se tiene una pérdida de US$ 30.00/ha.

Como la evaluación de la severidad es un método muy subjetivo y laborioso se propuso establecer los UDE en valores de incidencia, la cual es de medición objetiva y más sencilla y práctica para el productor. La relación entre la severidad y la incidencia de manchas foliares se estableció por medio de una ecuación resultante de un análisis de correlación. Los datos de I y S determinados en varios estados fenológicos se obtuvieron de diferentes experimentos de evaluación de fungicidas y prácticas culturales llevados a cabo en un período de 3 años. Para la estimación de la severidad se realizó un entrenamiento previo en computadora con el programa Distrain (Tomerlin & Howell, 1988).

$$I = \frac{ln\ (S/100 + 1{,}0261)\ X\ 100}{0{,}152647}$$

donde *I= Inc.(%) y S=severidad/100. y ln =Log natural*

Transformando la *S* de 7 de acuerdo con la fórmula, se obtiene un valor de 60% de *I.*

Considerando que para la eficiencia del control químico no se debe permitir que la incidencia y/o severidad exceda el UDE, (relación de indiferencia), la aplicación debe ser hecha un poco antes, debido a que tanto la implementación del control así como la acción del fungicida, demandan tiempo. *Como el UDA siempre es menor al UDE, se propone, un UDA de 55% en el estadio de encañazón en adelante.*

Este mismo procedimiento se debe utilizar para calcular los UDE para las otras manchas, oídio y roya de la hoja (Carmona *et al.*,2000).

4.4.1.2. Observaciones generales para la aplicación química basada en el Umbral de Daño Económico en cereales de invierno:

a) Las manchas foliares son más severas y de aparición más frecuente en lotes bajo monocultivo y siembra directa.
b) El monitoreo de las enfermedades en el cultivo debe comenzarse desde encañazón en adelante porque durante el macollaje hay emisión rápida de nuevas hojas y ocurre una reducción de la intensidad de las enfermedades. El moni-

toreo deberá consistir en dos visitas semanales para el seguimiento de royas (si es que se observan pústulas) y de una vez por semana para el de manchas.
c) La determinación de la incidencia (porcentaje de hojas enfermas respecto al total de hojas) debe ser hecha separando las hojas verdes y expandidas portadoras de sintomas de aquellas sanas. Se considerará hoja infectada con roya a aquella que presente al menos una pústula esporulante y hoja infectada por manchas foliares a aquella que tuviera como mínimo una lesión mayor a 2mm La recomendación por lote es la de tomar 50 macollos al azar en el cultivo siguiendo un recorrido en zigzag separar las hojas sin síntomas (totalmente sanas) de las que presenten síntomas y calcular.

I(%) = Número he / Th x 100 (Donde: *he* hojas enfermas *Th* total de hojas)

d) El umbral de daño económico (UDE) nunca deberá ser excedido a lo largo del desarrollo del cultivo. Por eso, dependiendo de la susceptibilidad del cultivar y de las condiciones climáticas podrá haber, en algunas situaciones, 1 ó 2 pulverizaciones.
e) El valor del UDE no es fijo, es por eso que se deberá calcular su valor en cada campaña en función de las oscilaciones de precio del trigo y del fungicida
f) Cuando ocurren conjuntamente en un cultivo dos o más enfermedades (ej royas y manchas foliares) la primera que alcance el UDA determinará el momento para la primer aplicación. Una posterior aplicación será hecha siempre que alguna de las enfermedades alcance otra vez el UDA.
g) No se recomienda sumar los UDA de dos o más enfermedades. Generalmente siempre existe la predominancia de una de las dos enfermedades que finalmente guiará la decisión.

4.4.2. Aplicación química basada en sistema de predicción de enfermedades

El estado actual de la Fitopatología, ha llevado al desarrollo de sistemas de predicción de enfermedades en algunos cultivos. Como fruto del aumento de los conocimientos en epidemiología, existe en la literatura actualmente numerosos sistemas de predicción La mayoría ellos involucran cultivos hortícolas y frutícolas donde se realizan numerosas aplicaciones de fungicidas. Los primeros sistemas fueron desarrollados par el tizón tardío de la papa causado por el hongo *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, enfermedad que tal vez sea la que requiera mayor número de pulverizaciones.

En países desarrollados, el uso de sistemas de predicción es más frecuente porque existe una presión de la sociedad para la reducción del uso de fungicidas en la agricultura y porque los productores necesitan reducir los costos de producción para aumentar la competitividad en la era de la globalización de los mercados.

Como ejemplo del sistema de predicción es de destacar el sistema de Wallin (1962) para el tizón tardío de la papa.

Este sistema prevee la ocurrencia inicial y el aumento posterior del tizón de la papa. Se basa en las interacciones entre humedad relativa y la temperatura, o sea el acúmulo de los valores diarios de severidad (VDS), estos valores son números arbitrariamente atribuidos a una relación específica entre duración de períodos de HR ≥ a 90% (hojas mojadas) y de la temperatura media ocurrida durante los referidos períodos. La primera ocurrencia de la enfermedad puede ser prevista después de acumular 18-20 de suma de VDS a partir de la emergencia de las plantas. Como medida de seguridad para concretar las aplicaciones, la recomendación para realizar las pulverizaciones de fungicidas se fija después de sumar 14 VDS.

5. Comentarios finales

Para alcanzar la sustentabilidad de la actividad agrícola, los elementos de control de enfermedades se deben concentrar en la eliminación y/o reducción del inóculo en sus propias fuentes.

Las pudriciones radiculares son, sin duda, las enfermedades de más difícil control. De los agentes patógenos infectantes de raíces los hongos habitantes del suelo con habilidad de competencia saprofítica, son los de más difícil manejo. Por este grupo de fitopatógenos, las prácticas como la rotación de cultivos podría, no tener efecto. Se debe tener en cuenta que para los patógenos de difícil control, la eliminación o erradicación del inóculo no es la mejor estrategia puesto que implica costos elevados. Lo que se debería lograr es la reducción del inóculo por debajo del umbral numérico de infección. La simple presencia de un patógeno en un cultivo no debe ser motivo de preocupación, pero sí la intensidad de sus daños. Esos efectos son los que deben ser reducidos o evitados por el manejo integrado. Lo importante es alcanzar la sustentabilidad económica debido a que los agricultores cultivan la tierra para ganar dinero.

Debido a las dificultades del manejo, el uso de técnicas aisladas para el control de enfermedades, casi siempre resulta insuficiente para reducir el inóculo a una densidad que no cause daños en un determinado cultivo. La combinación de prácticas culturales asociada al empleo de otras formas de control de enfermedades, como la quimioterapia y la resistencia genética, es recomendable bajo el punto de vista del manejo integrado de enfermedades.

La mayoría de los fitopatógenos probablemente, moriría de inanición independientemente de cualquier factor biológico, siempre y cuando no tuvieran acceso al hospedante o a otro sustrato adecuado. Aquellos patógenos que producen estructuras de resistencia pueden prolongar el período de viabilidad hasta

obtener el acceso al sustrato preferencial.

Entre las tácticas de control cultural de enfermedades, la rotación de cultivos es la que presenta mayor potencial de uso. La rotación no tiene limitación de uso, pudiendo ser utilizada en áreas extensas así como también en pequeñas áreas como los invernáculos. En cultivos de especies perennes, se prefieren otras estrategias de control. El potencial del uso de la rotación de cultivos buscando el control de enfermedades ha sido poco investigado en la Argentina y Brasil. La principal dificultad en la adopción de la rotación es la disponibilidad de especies vegetales alternativas que aseguren el retorno económico al productor.

La preparación del suelo como una medida de control cultural también presenta sus limitaciones. Los altos gastos de energía en el sistema de labranza convencional asociado a las pérdidas por erosión hídrica amenazan la sustentabilidad de la actividad agrícola. Por eso la realidad actual muestra un considerable aumento del área cultivada bajo siembra directa en detrimento de la siembra convencional.

El uso del fuego como medida fitosanitaria es una práctica condenada debido a los daños causados al medio ambiente y más aun teniendo en cuenta la existencia de otros métodos alternativos de control. La eliminación de los restos culturales a través del fuego podría ser sustituida por la mineralización biológica generada en la rotación de cultivos. Se trata de una simple elección de método para alcanzar el mismo objetivo, o sea, la eliminación de los restos culturales.

El manejo de enfermedades por la nutrición mineral de plantas debería recibir mayor atención por la investigación. Su potencialidad de uso debería ser priorizada en manejo de enfermedades al considerar sus aspectos prácticos y económicos.

En este trabajo se ha dado un ejemplo del manejo químico de enfermedades fundamentado en el UDE para el cultivo de trigo, pero estas bases de estudio deberían ser desarrolladas de manera semejante en otros cultivos.

Un ejemplo de éxito del MIE para la agricultura sustentable ocurre en el cultivo de trigo en Brasil. En este caso, el uso de semillas sanas y/o tratadas con fungicidas eficientes, cultivares con resistencia al oidio y royas y la adopción de rotación de cultivos bajo siembra directa, han posibilitado la producción de trigo sin la aplicación de fungicidas en la parte aérea en gran parte de la superficie cultivada. Algo semejante ocurre en el cultivo de cebada cervecera en Argentina, donde se aplica un programa de manejo que incluye modelos de predicción, tratamiento efectivo de semilla, rotación de cultivos, resistencia genética y aplicación racional y económica de fungicidas con el objetivo de reducir la importancia de la mancha en red (*D. teres*) (Carmona & Barreto, 2000).

Backman PA, R Rodriguez-Kaban & JC Willians (1975) The effect of peanut leaf spot fungicides on the none-target pathogen *Sclerotium rolfsii.* Phytopathol 65: 773-776.

Bailey KL (1997) IPM practices for reducing fungicide use in field crops. En: Pimentel D Ed. Techniques for reducing pesticide use. John Wiley & Sons Ltda. pp.293-316.

Baker KF & RJ Cook (1974) Biological of control of plant pathogens. H. Freeman, San Francisco.

Barreto D E & MA Carmona (1996) Field incidence of *Pyrenophora teres* and infection on barley Seed. RIA 26 (1) : 61-65.

Carmona MA (1994) Distribución, Incidencia y Severidad de las Enfermedades foliares de la Cebada Cervecera (*Hordeum distichum*) en la Provincia de Buenos Aires, Argentina en 1992, Fitopatología, 29 (3) :214-217.

Carmona MA & DE Barreto (1995) Enfermedades fúngicas de la cebada cervecera en la Pcia. de Bs. As. en 1991. Fitopatol Brasil 20:509-510.

Carmona MA, DE Irigoyen & R Pioli (1996) Presencia de *Xanthomonas campestris* pv. *undulosa* en campos de trigo bajo riego. Rev Facultad de Agronomía 16 (3):211-212.

Carmona MA & EM Reis (1998) Las enfermedades y su manejo en siembra directa.. Cuaderno de actualización técnica "Siembra directa" de los CREA pp. 68-81.

Carmona MA, DE Barreto & EM Reis (1999a) Detection, transmission and control of *Drechslera teres* in barley seed. Seed Sci. & Technol 27: 761-769.

Carmona MA, R Pioli & EM Reis (1999b) Malezas hospedantes de hongos necrotróficos causantes de enfermedades en trigo y cebada cervecera en la región pampeana Rev Facultad de Agronomía 19:105-110.

Carmona MA , PL Cortese, R Moschini, R Pioli, M Ferrazzini & EM Reis (1999c) Economical damage Threshold for fungicide control of leaf blotch and tan spot of wheat in Argentina. Proceedings of XIVth International Plant Protection Congress Jerusalem, Israel, Julio 25-30, 1999. p.119.

Carmona MA, EM Reis & PL Cortese (1999d) Mancha amarilla y Septoriosis de la hoja. Diagnóstico, Epidemiología y nuevos criterios para el manejo, 32 pp.

Carmona MA & DE Barreto (2000) Manejo integrado de la mancha en red de la cebada en Argentina. Proceedings of Workshop en Doencas em sistema de plantio direto con enfase em Mancha Foliar e Giberela, Organizado por Embrapa -Trigo, Procisur -IICA, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 6-8 de Junio, Brasil 2000.

Carmona MA, EM Reis & PL Cortese (2000) Royas del Trigo. Diagnóstico, epidemiología y estrategias de control, 21 pp.

Casa RT & EM Reis (1990) Infectividade de conídios de *Bipolaris sorokiniana,* livres no solo, aos órgãos subterrâneos do trigo. En: Salão de Iniciação Científica, 2, Porto Alegre, 1990. Resumos. Porto Alegre, UFRGS, p.42.

Casa RT, EM Reis, CA Medeiros & FB Moura (1995) Efeito do tratamento de sementes de milho com fungicidas, na proteção de fungos do solo, no Rio Grande do Sul. Fitopatol Bras 20: 633-638.

Casa, R T, EM Reis, R Severo, E Denti, S Trento & MMC Blum (2000) Prevenção e controle de doenças na cultura do milho. In: Sandini, I. & Fancelli, A.L. (eds) Milho: estratégias de manejo para a região sul. Guarapuava: Fundação agrária de Pesquisa Agropecuária, pp.131-146.

Cook RJ & RJ Veseth (1991) Wheat health management. APS Press, Minnesota, 152 pp.

Cook RJ (1996) Sustainable agriculture: introduction and summary. Canadian Journal of Plant Pathology 18: 115-118.

Curl EA (1963) Control of plant disease by crop rotation. Botanical Review 298: 413-429.

Deacon JW & LA Berry (1993) Biocontrol of soil-borne plant pathogens: Concepts and their application. Pesticide. Science 37:417-426.

Derpsch R (1985) Adubação verde e rotação de culturas. En: Encontro Nacional de Plantio Direto, 3., Ponta grossa, 1985. Anais. Castro: Fundação ABC. pp.85-104.

Derpsch R & A Calegari (1985) Guía de plantas para adubação verde de inverno. Londrina: 96p. (IAPAR, Documentos, 9).

Federation of British Plant Pathologists (1973) A guide to the use of terms in plant pathology. CAB. 55pp. (Phytopath Pap. No 17).

Ferraz S & LAC Valle Do (1997) Utilização de plantas antagônicas no controle de fitonematóides. In: II Encontro de Fitopatologia, (2.: 1997: Viçosa - MG) Palestras... Viçosa: UFV, DFP. p.p.42-55.

Grau CR & VL Radke (1984) Effects of cultivars and cultu-

ral practices on *Sclerotinia* stem rot of soybean. Plant Dis, 68: 56-58.

Hall R (1994) Compendium of bean diseases. APS Press, The American Phytopathological Society. Second printing. St. Paul, Minnesota. USA. 73 pp.

Helbig JB & RB Carrol (1984) Dicotyledonous weeds as a source of *Fusarium oxysporum* pathogenic on soybean. Plant Dis 63: 694.

Hoes JA & HC Huang (1985) Infect of between-role and within-role spacing on development of Sclerotinia wilt and yield of sunflower. Can. J. Plant Pathol. 7: 98-102.

Hoitink HAJ & PC Fahy (1986) Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. Ann. Ver. Phytopathology 24:93-114.

Hornby D (1993) Biological control of soil-borne plant pathogens. C.A.B. International. UK., 479 pp.

Huber DM (1990) Fertilizers and soil-borne diseases. Soil use and management 6: 168-173.

Huber DM (1994) The influence of mineral nutrition on vegetable diseases. Hort bras 12: 206-214.

Karl AC, LCB Nasser & AC Café Filho (1997) Mofo branco do feijoeiro, Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary, em áreas irrigadas nos cerrados. En: II Encontro de Fitopatologia, (2: 1997: Viçosa - MG) Palestras. Viçosa: UFV, DFP. pp.18-23.

Menzies JD (1963) Survival of microbial plant pathogens in soil. Bot Rev 29: 79-122.

Munford JD & GA Norton (1984) Economics of decision making in pest management. Annual Rev Entomology 29: 157-174.

Nasser LCB & JC Sutton (1993) Palhada de arroz pode controlar importante doença do feijoeiro irrigado (rice residue may control na important disease: white mold on dry beans under centre pivot irrigation). Cerrados Pesquisa & Tecnologia 3 (1): 6.

Picinini EC, JMC Fernandes, JK Ignaczak & I Ambrosi (1996) Impacto econômico do uso do fungicida propiconazole na cultura do trigo (*Triticum aestivum*). Fitopatol Brasil 21: 362-368.

Punja ZK (1985) The biology, ecology, and control of *Sclerotium rolfsii*. Ann Rev Phytopathol 23: 97-127.

Recomendações. Reunião Da Comissão Sul-Brasileira De Pesquisa De Trigo (2000) 32, Cruz Alta. Recomendações. Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo, 2000. Cruz Alta, RS.

Reis EM (1985) Doenças do trigo I; podridão comum de raízes - helmintosporiose. São Paulo: CNDA, 20p.

Reis EM (1987) Sobrevivência de fitopatógenos. En: Encontro Paulista de Plantio Direto, 1. Piracicaba: FEALQ/ESALQ/USP, 1987. pp.73-89.

Reis EM (1988) Doenças do trigo III. Giberela. 2a. edição revista e ampliada. 12 pp.

Reis EM (1989) Doenças do trigo II. O mal-do-pé. 2ed. rev. atual. São Paulo. 15 pp.

Reis EM & AC Baier (1983) Efeito do cultivo de alguns cereais de inverno na população de *Helminthosporium sativum* no solo. Fitopatol Bras 8: 311-315.

Reis EM & RT Casa (1996) Manual de identificação e de controle de doenças do milho. Passo Fundo. Aldeia Norte Editora. 80 pp.

Reis EM & RT Casa (1997) Cereais de inverno. En: Vale FXR do & Zambolim L. Eds. Controle de doenças de plantas: grandes culturas. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 2v: pp.231-289.

Reis EM & CA Forcelini (1995) Controle cultural. En: Bergamin Filho A, H Kimati. & Amorim L Eds. Manual de Fitopatología. 3 Ed. 2V. São Paulo: Agronômica Ceres. p.p. 711-716.

Reis EM & HP Santos Dos (1983) Interações entre doenças de cereais de inverno e sistema plantio direto. En: Plantio Direto no Brasil. Embrapa-Fecotrigo e Fundação ABC. Passo Fundo. pp.105-110.

Reis EM & WA Wunsche (1984) The sporulation of *Cochliobolus sativus* on residues of winter crops and its relationship to the increase of inoculum density in the soil. Plant Dis 68: 411-412.

Reis EM, HP Santos Dos & LR Pereira (1985) Rotação de culturas IV. Efeito sobre o mosaico e doenças radiculares do trigo em 1983. Fitopatol bras 10: 637-642.

Reis EM, HP Santos Dos, JCB Lhamby & MMC Blum (1992) Effect of soil management and crop rotation on the leaf blotches of wheat in southern Brazil. En: Congresso Interamericano de Siembra Directa, 1, Jornadas Binacionales de Cero Labranza, 2, Villa Giardino, 1992. Trabajos presentados. Villa Giardino, Associación Productores em Siembra Directa/Sociedad de Conservación de Suelos/Clube Amigos da Terra/Fundação ABC/Associación Argentina Pro Siembra Directa. pp.217-236.

Reis EM, RT Casa, MMC Blum, HP Santos & CA Medeiros (1997a) Efeitos de práticas culturais na severidade de manchas foliares do trigo e sua relação com a incidência de fungos patogênicos na semente colhida. Fitopatol Brasil 22: 407-412.

Reis EM, CA Medeiros & RT Casa (1997b) Control of leaf blights of wheat by elimination of the inoculum source. In: Duveiller E, HJ Dubin, J Reeves & A McNab (Eds). Helminthosporium blights of wheat: spot blocth and tan spot. CIMMYT/UCL/BADC. p.327-332.

Reis EM, CEL Silva, RT Casa & CA Medeiros (1998) Decomposição dos restos culturais do trigo e sobrevivência saprofítica de *Bipolaris sorokiniana*. Fitopatol Brasil 23: 62-64.

Reis EM, DE Barreto & MA Carmona (1999) Patología de semillas de cereales de invierno, 100 pp.

Rotem J & J Palti (1980) Epidemiological factors as related to plant disease control by cultural practices. En: J Palti & J Kranz. (Eds.) Comparative epidemiology: a tool for better disease management. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Netherlands. p.p.104-116.

Santos HP Dos, EM Reis & R Derpsch (1983) Rotação de culturas. In: Plantio Direto no Brasil. Embrapa-Fecotrigo e Fundação ABC. Passo Fundo, pp.85-103.

Santos HP Dos, EM Reis, I Ambrosi, C Wobeto & R Sattler (1998) Sistemas de rotação de culturas com trigo para a região sul do Brasil, sob sistema plantio direto. EMBRAPA-TRIGO. Comunicado Técnico No 7, pp.1-12.

Shurtleff MC (1992) Compendium of corn diseases. The American Phytopathological Society. 105 pp.

Summer DR (1994) Cultural management. En: Campbell CL & DM Benson (Eds). Epidemiology and management of root diseases. Springer-Verlag, Berlin. pp.309-333.

Tomerlin & Howell (1988) Distrain, Plant Disease 72: 455-459.

Yorinori JT (1990) Cancro da haste da soja. EMBRAPA-CNPSo. (Comunicado Técnico, 44, 7pp.

Van Driesche & TS Bellows (1996) Biological Control. Chapman & Hall Ed.. New York. 539 pp.

Wallin JR (1962) Summary of recent progress in predicting late blight epidemics in the United States and Canada. Am Potato J 39: 306-312.

Watkins JE & MG Boosalis (1994) Plant disease incidence as influenced by conservation tillage systems. In: Unger PW (Ed.). Managing agricultural residues. CRC Press, Inc. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida, pp.261-283.

Whetzel HH (1929) The terminology of phytopathology. Proceedings of Int Congr Plant Sciences 2: 1204-1215.

Zambolim L & JA Ventura (1996) Resistência a doenças induzidas pela nutrição mineral das plantas. Potafós, Encarte Técnico. Informações técnicas, No 75. 16 pp.

Zambolim L, H Costa & FXR Vale Do (1997a) Feijão comum: podridão, tombamento e murcha causados por fungos do solo. In: VALE, F.X.R. do & ZAMBOLIM, L. (eds). Controle de doenças de plantas: grandes culturas. v.1. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Fitopatología; Brasília, DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento. pp.375-402.

Zambolim L, FXR Vale Do & H Costa (1997b) Controle integrado das doenças de hortaliças. Viçosa, MG, 122 pp.

Posibilidades del manejo de enfermedades mediante el uso de antagonistas

Cecilia Mónaco

1. Introducción

Tradicionalmente el productor agropecuario controla las enfermedades mediante el uso de fungicidas en altas dosis y frecuencias de aplicación, eliminando una gran cantidad de especies fúngicas, la mayoría de ellas saprófitas. Este vacío provoca un riesgo de reinvasión por parte de los patógenos ante la pérdida del efecto amortiguador que le opone la flora saprobia. Las consecuencias de la reducción de la biodiversidad son particularmente evidentes en el campo del manejo de enfermedades. Las características de autorregulación inherentes a las comunidades naturales se pierden cuando el hombre las modifica, al destruir el frágil equilibrio de sus interacciones. Estos problemas han adquirido en la actualidad características alarmantes, a tal punto, que la eliminación de los saprobios naturales ha forzado a la utilización de elementos cada vez más potentes, lo que significa una mayor agresión al ecosistema y la presencia de altos niveles de residuos en los productos cosechados (Vigiani, 1990). Esto puede ser reparado mediante el restablecimiento de los elementos homeostáticos de la comunidad a través de la adición o promoción de la biodiversidad (Buyer & Kaufman, 1997).

Recientemente, los fitopatólogos han destacado el hecho de que las enfermedades epidémicas son más frecuentes en los cultivos que en la vegetación natural. Se ha llegado así, a la conclusión que las enfermedades epidémicas son, en gran medida, el resultado de la interferencia humana en el "balance de la naturaleza". Las condiciones que permiten a un agente patógeno alcanzar niveles epidémicos están particularmente favorecidas por la extensión de sistemas de cultivos genéticamente homogéneos.

2. Manejo de enfermedades

El concepto de "Control de enfermedades" involucra la aplicación de medidas tendientes a eliminar al organismo causal de una enfermedad siendo, por lo tanto, sólo aplicable a un número limitado de situaciones. En los últimos años, este concepto ha sido

reemplazado por el de "Manejo de enfermedades", que implica un proceso continuo de eventos consistentes en la selección y uso de técnicas orientadas a reducir las enfermedades a un nivel tolerable (Apple, 1977).

El manejo de enfermedades trata de regular a los organismos fitopatógenos y no de erradicarlos. Su concepto está estrechamente ligado al de "umbral de daño económico", definido como la menor densidad de población de patógeno que causa daño en el cultivo.

Se pueden aplicar tres estrategias epidemiológicas para disminuir al mínimo las pérdidas causadas por enfermedades:

1- Eliminar o reducir el inóculo inicial o retardar su aparición.

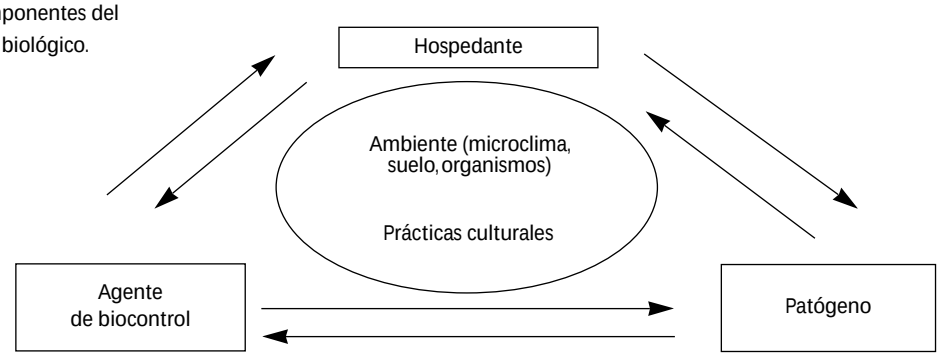
2- Disminuir la tasa de desarrollo de la enfermedad durante el período de crecimiento.

3- Acortar el tiempo de exposición de un cultivo al agente patógeno, utilizando variedades de ciclos cortos.

Dentro de las estrategias 1 y 2 se ha propuesto como práctica de manejo de enfermedades al control biológico, que según la definición de Cook & Baker (1983), es la reducción de la densidad de inóculo o de la actividad de un agente patógeno, obtenido por o mediante uno o más organismos diferentes al hombre (Figura 1). Con frecuencia, el control biológico comprende la utilización de organismos en el medio ambiente, con el fin de disminuir la capacidad del agente causante de la enfermedad.

Figura 1

Interrelaciones entre los componentes del control biológico.



El control biológico aparece como una nueva alternativa, que puede contribuir a minimizar los daños causados por los patógenos y reducir el uso de productos químicos. El mismo puede ser realizado:

1- Creando, a través de prácticas culturales, condiciones ambientales favorables para la acción de los microorganismos saprobios

2- Mejorando genéticamente la capacidad del huésped para activar a estos microorganismos.

3- Mejorando genéticamente a los microorganismos saprobios.

4- Introduciendo masivamente microorganismos benéficos.

De acuerdo con Matta (1985), la lucha biológica de fitopatógenos deberá tender a mantener el equilibrio biológico preexistente, o a reconstituirlo y manejar a los antagonistas naturales en situaciones ecológicamente desfavorables. Estas estrategias de acción estarán basadas en un profundo conocimiento de las características epidemiológicas de la enfermedad.

Se considera antagonistas a aquellos microorganismos saprobios capaces de interferir en el ciclo de vida de los patógenos vegetales. Pueden ser hongos, bacterias, nemátodos o virus, estos son los equivalentes a los "enemigos naturales" usados en el control biológico de insectos, pero su especificidad es menor.

Estos pueden disminuir o impedir la germinación de los propágulos de los patógenos, causar la degradación de los mismos, inhibir el crecimiento y desarrollo de la biomasa del patógeno por la producción de antibióticos o por el entrelazamiento de las hifas, competir por el alimento (hidratos de carbono, nitratos), como también pueden prevenir al huésped contra la penetración del patógeno.

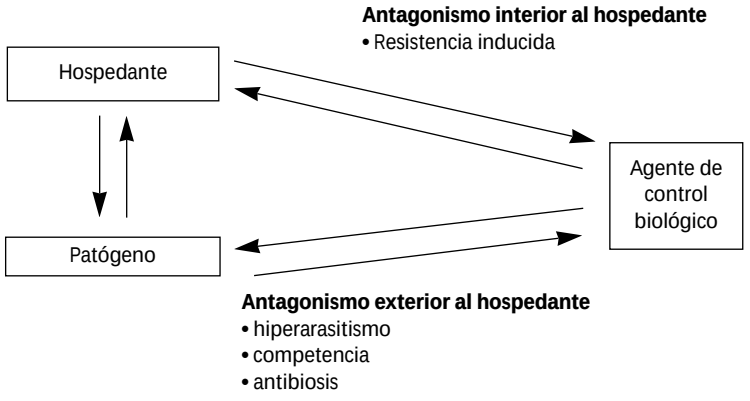
Las plantas sostienen muchos microorganismos no patógenos o débilmente patógenos en forma epífita o endófita. Tales microorganismos pueden ser importantes antagonistas que se encuentra dentro o sobre los tejidos vegetales y, según la capacidad antagónica que posean, podrán desplazar, reducir, suprimir o inducir resistencia al patógeno. Muchos de los antagonistas más efectivos de los hongos fitopatógenos, son razas no patógenas o especies relacionadas con ellos que están adaptadas ecológicamente al cultivo.

Los patógenos sufren el efecto de los antagonistas naturales durante el estado de latencia en el suelo, en la supervivencia saprofitaria sobre el rastrojo, en la pre-penetración sobre la superficie del huésped o dentro de los tejidos vegetales durante la patogénesis. Además, algunos microorganismos pueden actuar haciendo que la planta crezca mejor, de manera que si la enfermedad existe, sus síntomas estén parcialmente ocultos.

El antagonismo incluye diferentes mecanismos como la antibiosis, la competencia, el parasitismo y la resistencia inducida. (Figura 2).

Figura 2

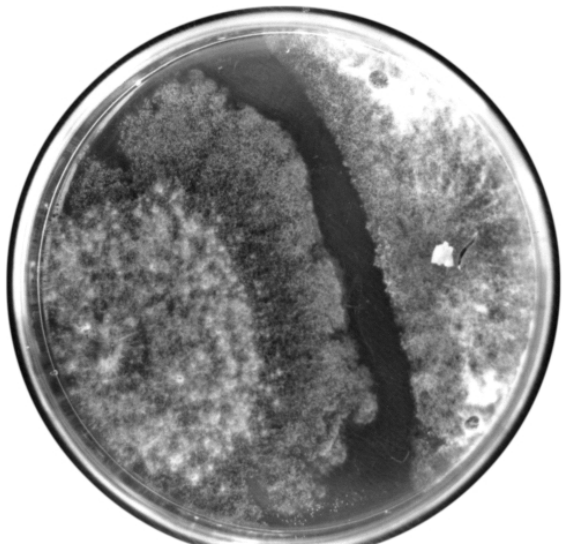
Algunos mecanismos involucrados en el control biológico mediante el uso de antagonistas.



Antibiosis: es la inhibición o destrucción de un organismo por los productos del metabolismo de otro. Juega un papel protagónico en la ecología de los microorganismos del suelo. La habilidad de producir antibióticos depende de la especie y del sustrato nutritivo (Cook & Baker, 1983) (Foto 1).

Foto 1

Observación de antibiosis en placa de Petri. Presencia de una zona sin crecimiento miceliar entre dos especies. (Foto H E Alippi).



Competencia: es la interacción de dos o más organismos por el sustrato que cada uno necesita, cuando la cantidad del mismo no es suficiente para ambos. La competencia por nutrientes es el factor más importante para los hongos del suelo.

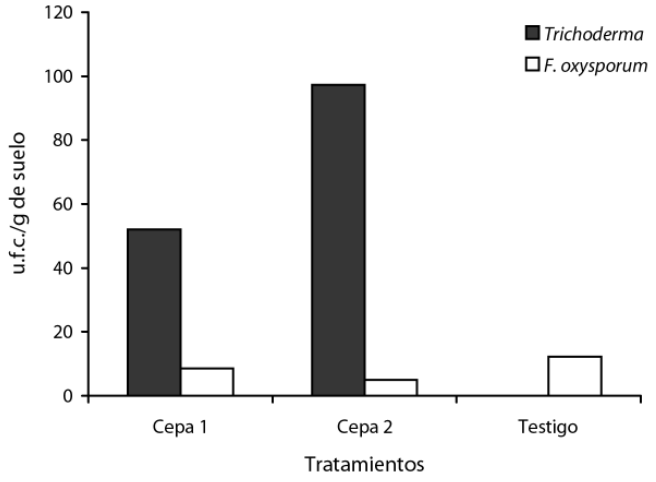
La habilidad de un microorganismo para colonizar rápidamente su hábitat en forma tridimensional, le confiere a éste gran ventaja competitiva.

En la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina) se está trabajando en el control biológico del marchitamiento del clavel (*Dianthus caryophyllus*) provocado por *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* con cepas de *Trichoderma* spp. Cuando se inoculó el suelo con ambos hongos se observó una disminución en la población del patógeno, que se manifestó por una menor severidad de la enfermedad en las plantas. *Trichoderma* spp colonizó rápidamente el sustrato (suelo) manteniendo baja la población de *F. oxysporum* (Figura 3, página 313).

La mayoría de los patógenos foliares necrotróficos presentan una fase temporaria saprofítica antes de la penetración al hospedante. Durante este período el organismo requiere nutrientes exógenos obtenidas de las secreciones de la planta y/o de material presente en las hojas (polen, excreciones de los ácaros y/o áfidos). Aquellos microorganismos que consumen activamente los nutrientes de la superficie foliar son capaces de limi-

Figura 3

Disminución de la población de *Fusarium oxysporum* en la rizosfera de las plantas de clavel (*Dianthus caryophyllus*) en presencia de *Trichoderma* spp.(cepas 1 y 2).En el tratamiento testigo el patógeno fue inoculado solo.
u.f.c.: Unidades formadoras de colonia (población del patógeno) expresado en miles (x 1000).



tar la infección de patógenos necrotróficos como *Alternaria solani.*

En ensayos realizados en un invernáculo comercial con plantas de tomate (*Licopersicum esculentum*) se observó una importante disminución del tizón temprano (ocasionado por *A. solani*) cuando las plantas fueron inoculadas con una suspensión de esporas de especies antagonistas habitantes naturales del filoplano (Mónaco *et al.*, 1999)

Parasitismo: el parasitismo entre hongos es un fenómeno frecuente. Los micoparásitos son hongos que parasitan especies cercanas o lejanas sistemáticamente de ellos.

En este sentido, Mónaco *et al.* (1998) observaron la destrucción de los esclerocios de *Sclerotinia sclerotiorum* parasitados por cepas de *Trichoderma* spp. y *Gliocladium roseum.* En la tabla 1 se observa el porcentaje de esclerocios recogidos del suelo luego de haber estado en contacto con los antagonistas.

Tabla 1

Efecto de los hongos antagonistas sobre los esclerocios de *Sclerotinia sclerotiorum.*

	RPP			D		
Días a partir de la siembra	*30*	*60*	*90*	*30*	*60*	*90*
Trichoderma koningii	54	46	2	30	40	68
T.harzianum	70	20	10	26	80	80
Gliocladium roseum	70	4	0	22	92	98
Testigo	0	0	0	0	0	0

RPP: porcentaje medio de los esclerocios recuperados que posteriormente mostraron estar parasitados.
D: porcentaje medio de los esclerocios desintegrados (no recuperados).
En todos los casos la proporción se expresa en porcentaje sobre el número de esclerocios enterrados al comienzo del ensayo.

Foto 2

Hiperparasitismo entre dos especies. *Trichoderma harzianum* enrolla a la hifa de *Rhizoctonia solani.* (Foto H E Alippi). (x 400).

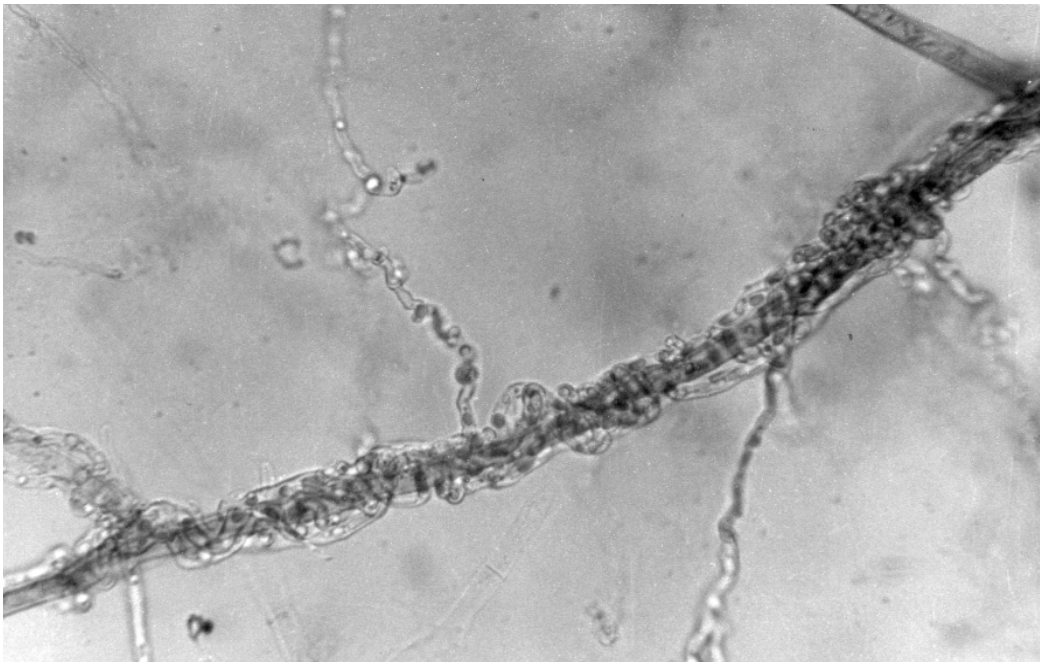


Foto 3

Micoparasitismo de *T. harzianum* sobre *Sclerotinia sclerotiorum.* (Foto HE Alippi). (x 400).



Numerosas cepas de *Trichoderma* se comportan como micoparásitos de organismos patógenos. Tal es el caso que se observa en las fotos 2 y 3 (página 314), donde hifas de *T. harzianum* enrollan a las hifas de *Rhizoctonia solani* y de *S. sclerotiorum,* respectivamente.

Los hiperparásitos de hongos patógenos de plantas silvestres pueden ser una importante fuente de antagonistas, los que a menudo se pierden bajo las prácticas culturales, un ejemplo de esto es *Darluca filum* sobre la roya del duraznero (*Transzchelia pruni-spinosa*) y *Hansfordia pulvinata* sobre *Fulvia fulva.*

Resistencia inducida: se refiere a aumentar la resistencia de una planta a un patógeno como resultado de un tratamiento previo con una cepa atenuada del patógeno o una cepa no patógena de la misma especie

3. Estrategias de control biológico

Existen tres estrategias para el uso de microorganismos en el control biológico. Estas son:

• ***Liberación inoculativa:*** pretende introducir al agente antagonista una sola vez en el medio, con la intención de que éste se establezca como una población duradera y provoque algunos niveles de control. Esta estrategia se define como "control biológico clásico".

• ***Aplicación aumentativa:*** busca aumentar la población de un microorganismo antagonista ya presente en el medio. El control biológico resulta del incremento de la población antagonista a una densidad efectiva antes que se produzca el daño por el patógeno.

• ***Aplicación inundativa:*** pretende elevar la población de un agente de biocontrol a una densidad instantáneamente muy alta para asegurar una rápida supresión o muerte del patógeno deseado.

Hasta ahora, el método más prometedor parece ser el aumento de los agentes biocontroladores mediante el cambio del equilibrio o el aumento de la actividad de la comunidad microbiana, favoreciendo así la liberación de metabolitos tóxicos y la competencia por nutrientes.

4. Aplicación de un agente de biocontrol

Los pasos a seguir para iniciar un ensayo sobre el manejo de enfermedades mediante el empleo de antagonistas son los siguientes:

4.1. Selección de cepas eficientes

Una cepa eficiente debe mostrar al menos una de las varias actividades antagonistas señaladas anteriormente y debe ser competente en la rizosfera y/o filoplano. La selección se hace por diferentes vías:

• Una preselección sobre los modos específicos de acción usando ensayos "in vitro"

diseñados para revelar metabolitos específicos como sideróforos (compuestos extracelulares de bajo peso molecular con una alta afinidad por el ión férrico) o producción de antibióticos. La limitante de esta estrategia de selección es que se hace solamente sobre mecanismos ya conocidos y que los metabolitos producidos "in vitro" no necesariamente se sintetizan luego en la rizosfera y/o filoplano.

• Evaluación de la eficiencia de cada cepa en bioensayos donde el antagonista es enfrentado con el patógeno en la hoja, en el suelo ó en un sustrato de crecimiento en presencia del hospedante.

• Evaluación de la eficiencia de la cepa seleccionada en ensayos a campo donde el antagonista se encuentra en las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de la enfermedad.

4.2. Evaluación de riesgos. Registro

De acuerdo con las regulaciones para registrar un producto microbiano éste debe haber demostrado que efectivamente disminuye la enfermedad para la cual se registra y no muestra un efecto tóxico sobre el aplicador ni el consumidor. Estos procesos son muy caros y limitan el número de antagonistas microbianos registrados.

En términos de evaluación de riesgos, el mejor antagonista microbiano debería ser aquel que sobreviva después de inoculado, y no modifique significativamente la diversidad microbiana en el medio donde se desea controlar la enfermedad.

4.3. Producción en masa, formulación y liberación

Habiendo seleccionado una cepa eficiente, es necesario producir inóculo a gran escala y finalmente colocar al antagonista en el mercado. Si bien los antagonistas crecen fácilmente en medios líquidos o sólidos, se deben optimizar las condiciones de crecimiento a fin de reducir los costos de producción.

Hay dos razones por las que el control biológico en el filoplano no ha prosperado tanto como el biocontrol en la rizosfera: a) el suelo es un medio más uniforme y estable y es fácilmente colonizable por los antagonistas y b) la disponibilidad de fungicidas efectivos, baratos y de fácil aplicación en el filoplano.

Uno de los beneficios del control biológico en el filoplano es que se evita en el ambiente el daño a largo plazo ocasionado por los pesticidas persistentes. Y, por lo tanto, la ausencia de residuos tóxicos en los cultivos.

La integración de diferentes métodos de control de las enfermedades de las plantas constituye una alternativa con mayores posibilidades de éxito que la utilización de una sola práctica. El control integrado es un sistema en el cual varios métodos son utilizados secuencialmente en épocas adecuadas, tratando de causar los menores perjuicios al hombre y al ambiente. Debe haber una mínima interferencia entre los métodos aplicados, siendo inte-

resante un efecto aditivo o sinérgico en el que cada medida de control refuerce a las demás. De esta forma, el control biológico debe actuar en un contexto de equilibrio biológico y ser considerado como una alternativa dentro de un programa general de control.

5. Consideraciones finales

El control biológico de los patógenos de plantas no debe ser considerado más como un tema de simple interés académico. En 1995 ya se comercializaban al menos 30 agentes de biocontrol para el manejo de patógenos en el mercado mundial.(Lumsden *et al.*, 1995) (Tabla 2).

Tabla 2

Ejemplo de antagonistas disponibles o en proceso de registro para uso en preparaciones comerciales para el biocontrol de patógenos de las plantas.

Antagonista	Patógeno	Enfermedad / hospedante	Nombre del producto/país
Candida oleophila	*Botrytis, Penicillium* sp.	Enfermedades de post-cosecha	Aspire (USA)
Conyothirium minitans	*Sclerotinia sclerotiorum*	Enfermedades de *Helianthus annus*	Conyothirium (Rusia)
Fusarium oxysporum (no patógeno)	*F. oxysporum f.sp. batatas*	Marchitamiento en *Ipomea batatas*	Japón
Gliocladium virens	*Pythium ultimun* y *Rhizoctonia solani*	Damping off	USA
Peniophora gigantea	*Heterobasidium annosum*	Podredumbre del tallo y de la raíz de *Pinus* sp	United Kingdom
Pythium oligandrum	*P. ultimun*	Damping-off en *I. batatas*	Checoslovaquia
Pseudomonas syringae	Patógenos de post-cosecha.	Enfermedades de post-cosecha	BioSave 10 y 11 (USA).
Streptomyces griseovorodis	*Alternaria* sp; *Fusarium* sp; . *Phomopsis* sp	Enfermedades en partes aéreas.	Mycostop (USA)
Sporidesmiun sclerotivorum	*Sclerotinia spp.*	Hortalizas	USA
Trichoderma spp.	*Ceratocystis ulmi; Endothia parasitica*	*Ulmus* sp. Marchitamiento de *Castanea* sp.	BINAB-T(Suiza)
Gliocladium virens	*Pythium* sp.; *Rhizoctonia* sp.	Marchitamientos y podredumbres.	SoilGard 12G (USA)
Trichoderma harzianum	*Pythium* sp.	Damping-off	F-Stop (USA)
Trichoderma spp.	*Botrytis sp.; Pythium sp.; Sclerotinia sp.; Verticillium sp.;*	Frutos y Hortalizas	Trichodermin (Bulgaria y Gob. Soviético)

El área comercial de los productos biológicos recién está comenzando. Un organismo o una estrategia de biocontrol considerada no viable en la actualidad podría ser explotada muy exitosamente en un mercado futuro, en el cual la agricultura sostenible y la reducción de los impactos sobre el ambiente sean de alta prioridad.

Apple J (1977) The theory of disease management in plant disease. An advanced treatise. Academic Press, New York. 465 pp.

Buyer JS & DD Kaufman (1997) Microbial diversity in the rhizosphere of corn grown under conventional and low input system, Appl. Soil Ecol. 5: 21-28.

Cook RJ & KF Baker (1983) The nature and practice of biological control of plant pathogens. APS Press, San Francisco. 539 pp.

Lumsden RD, JA Lewis & JC Loke (1995) Biological pest control agents: formulation and delivery. American Chemical Society, Washington, D.C. 245 pp.

Matta A (1985) Lotta biologica quale strategia? La Difesa delle Piante 2: 95-98.

Mónaco C, MC Rollán & A Nico (1998) Efecto de micoparásitos sobre la capacidad reproductiva de esclerocios de *Sclerotinia sclerotiorum*. Rev. Iberoam. Micol. 15: 81-84.

Mónaco C, A Nico, I Mitidieri & H Alippi (1999) Saprobic fungi inhabiting tomato phylloplane as possible antagonists of *Alternaria solani.* Acta Agronomica Hungarica 47: 397-403.

Vigiani A (1990) Hacia el control integrado de plagas. Ed. Hemisferio Sur. 124 pp.

El empleo de enmiendas orgánicas para el control de hongos de suelo y nematodos

Andrés Nico

1. Las limitaciones asociadas al control de hongos de suelo y nematodos fitoparásitos en la agricultura convencional

El suelo es el hábitat natural de numerosas especies de hongos y nematodos que parasitan a las plantas cultivadas. Cuando las condiciones resultan propicias, estos organismos llegan a reducir de tal manera el rendimiento de los cultivos o la calidad de los productos de cosecha que obligan a desplegar medidas de manejo que reduzcan su incidencia.

El desarrollo de la agricultura convencional ha desembocado en el surgimiento de un paquete de recomendaciones que, prácticamente, restringe la estrategia de control al empleo de productos comerciales. En particular durante la última década ha cobrado gran difusión en producciones intensivas la desinfección total del suelo en los lotes de asiento definitivo del cultivo. Esta práctica, que antes era casi exclusiva de almácigos, pasó a adoptarse para superficies mayores en la República Argentina debido a su abaratamiento relativo y a la aparición de técnicas que facilitaron la aplicación de los productos requeridos, en particular el bromuro de metilo. Como herramientas alternativas o complementarias, el esquema convencional de control sigue incluyendo el empleo de fungicidas y nematicidas específicos aplicados al suelo o a la base de la planta y, en menor medida, el empleo de cultivares resistentes.

Esta pauta de manejo, fuertemente dependiente de insumos y desarrollada bajo condiciones propias de agroecosistemas alóctonos, ha determinado la aparición de inconvenientes que cada vez más alertan sobre la necesidad de su replanteo. La provisión regular y sostenida de aquellos insumos que se vuelven indispensables bajo los rígidos esquemas técnicos en vigencia comienza a verse amenazada por el desarrollo creciente de normas reguladoras que limitan su empleo o, en el caso extremo, lo prohíben. Estas medidas ya afectaron en Italia al PCNB, el fungicida más habitualmente recomendado para el control de hongos de suelo (Gullino & Kuijpers, 1994), y determinaron que los nematicidas fumigantes específicos se retiraran del mercado en Estados Unidos y otros muchos países (Thomason & Caswell, 1987). Del mismo modo el desarrollo de la legislación reguladora ha colocado a todos los países en una carrera perentoria para el descubrimiento de alternativas al empleo del bromuro de metilo (Ristaino & Thomas, 1997).

El creciente deterioro de la capa de ozono, atribuido al empleo de este producto y otros hidrocarburos halogenados, ha llevado a contraer, a través del Protocolo de Montreal, el compromiso de erradicar por completo su uso en un futuro mediato.

Aun sin considerar la posibilidad de que sean retirados del mercado productos incluidos en los cronogramas habituales, el control químico de nematodos y hongos de suelo acarrea problemas agronómicos que imponen la necesidad de encontrar alternativas para el mismo. La desinfección presenta una altísima eficiencia en el control de hongos de suelo, nematodos, insectos y malezas cuando se observan las recomendaciones operativas adecuadas pero provoca, a mediano plazo, los problemas que supone eliminar el efecto "tampón" o compensador que aporta la microflora saprobia del suelo. Los nematicidas y fungicidas de uso específico presentan, en cambio, un resultado errático, muy inferior al que se obtiene, en condiciones similares, con productos destinados al control de plagas y enfermedades que atacan la parte aérea. Las características del medio físico edáfico, con su complejidad y su variabilidad de acuerdo a los ambientes, determinan que fungicidas y nematicidas aplicados al suelo fracasen en muchas ocasiones (Munnecke, 1974). Fenómenos de tipo biológico como la generación de resistencia en la población del patógeno y la inducción de la degradación microbiana determinan asimismo que muchas veces deba recurrirse a dosis crecientes para lograr un grado de control similar. Por último, otro fenómeno adverso que pueden provocar los nematicidas y fungicidas aplicados al suelo es la fitotoxicidad.

Todos los productos químicos empleados, tanto en la desinfección como en los tratamientos específicos, son en mayor o menor medida, tóxicos para especies diferentes de aquellas sobre las cuales se busca que tengan efecto, incluido el hombre. Por esta razón su empleo puede determinar la aparición de "externalidades", vale decir un costo que recae sobre toda la sociedad y que emerge de la prevención o remediación de efectos perjudiciales sobre los aplicadores, los consumidores y el ambiente. Esta consideración es particularmente aplicable a los desinfectantes de suelo y los nematicidas, dados sus altos índices de toxicidad aguda. El deterioro de la capa de ozono nos muestra, por otra parte, que el daño ambiental no se reduce únicamente al efecto sobre la supervivencia de especies "no objetivo", sino que puede involucrar mecanismos más complejos que alcanzan una escala planetaria.

Por otra parte, si bien los fungicidas específicos presentan en general bajos valores de toxicidad aguda para mamíferos (De Waard *et al.*, 1993), crece en el mundo la preocupación acerca de la posibilidad de que el uso de tales productos acarree riesgos toxicológicos crónicos como mutagénesis y teratogénesis y efectos ambientales adversos como la lixiviación, la persistencia y la bioacumulación en etapas terminales de las cadenas tróficas (Gullino & Kuijpers, 1994).

El empleo de materiales con resistencia genética escapa a la mayor parte de las limitaciones expresadas previamente pero, a la vez, no resulta por sí solo una solución adecuada al problema. Aun no se dispone de cultivares que ofrezcan protección frente a muchos de los parásitos de suelo que afectan más frecuentemente a los cultivos intensivos en nuestro país. Tal el caso, por ejemplo, de hongos como *Sclerotinia* spp. Fuckel,

Rhizoctonia solani Kühn, *Sclerotium rolfsii* Sacc., y nematodos como *Nacobbus aberrans* (Thorne,1935) Thorne & Allen, 1944, *Paratylenchus* spp. Micoletzky, etc. Por otra parte, cuando se encuentran disponibles, la utilización de cultivares resistentes puede limitar la elección por parte del productor de líneas que pudieran tener características deseables en lo que se refiere a rendimiento y calidad.

2. El empleo de enmiendas orgánicas como alternativa de control

El panorama ilustrado hasta aquí, sumado a la creciente preocupación sobre la sustentabilidad de los sistemas de producción de alimentos, ha volcado la atención de los investigadores hacia el estudio de métodos alternativos para el control de enfermedades. En este contexto existen muchas prácticas culturales que, integradas adecuadamente en un sistema de manejo, permitirían disminuir el daño económico provocado por los patógenos a un costo inferior y provocando deterioros ambientales menores (Palti, 1981; Roberts, 1993).

Dentro de este conjunto de prácticas se halla el control de hongos y nematodos parásitos del suelo mediante el empleo de "enmiendas orgánicas". A los fines de esta presentación se conoce con este nombre a todo aquel material residual de constitución fundamentalmente orgánica, más o menos elaborado con posterioridad a su generación como subproducto de alguna actividad humana y que se aporta al suelo en forma voluminosa. Del mismo modo y con fines prácticos, se incluyen con esta denominación los abonos verdes, si bien no se los pueda considerar estrictamente como materiales residuales. En la Figura 1 (página 322) se observa la diversidad de enmiendas orgánicas que han mostrado ser efectivas para controlar hongos patógenos de suelo y nematodos. En efecto, esta práctica ha sido ensayada en múltiples ocasiones y en ambientes y patosistemas muy diversos.

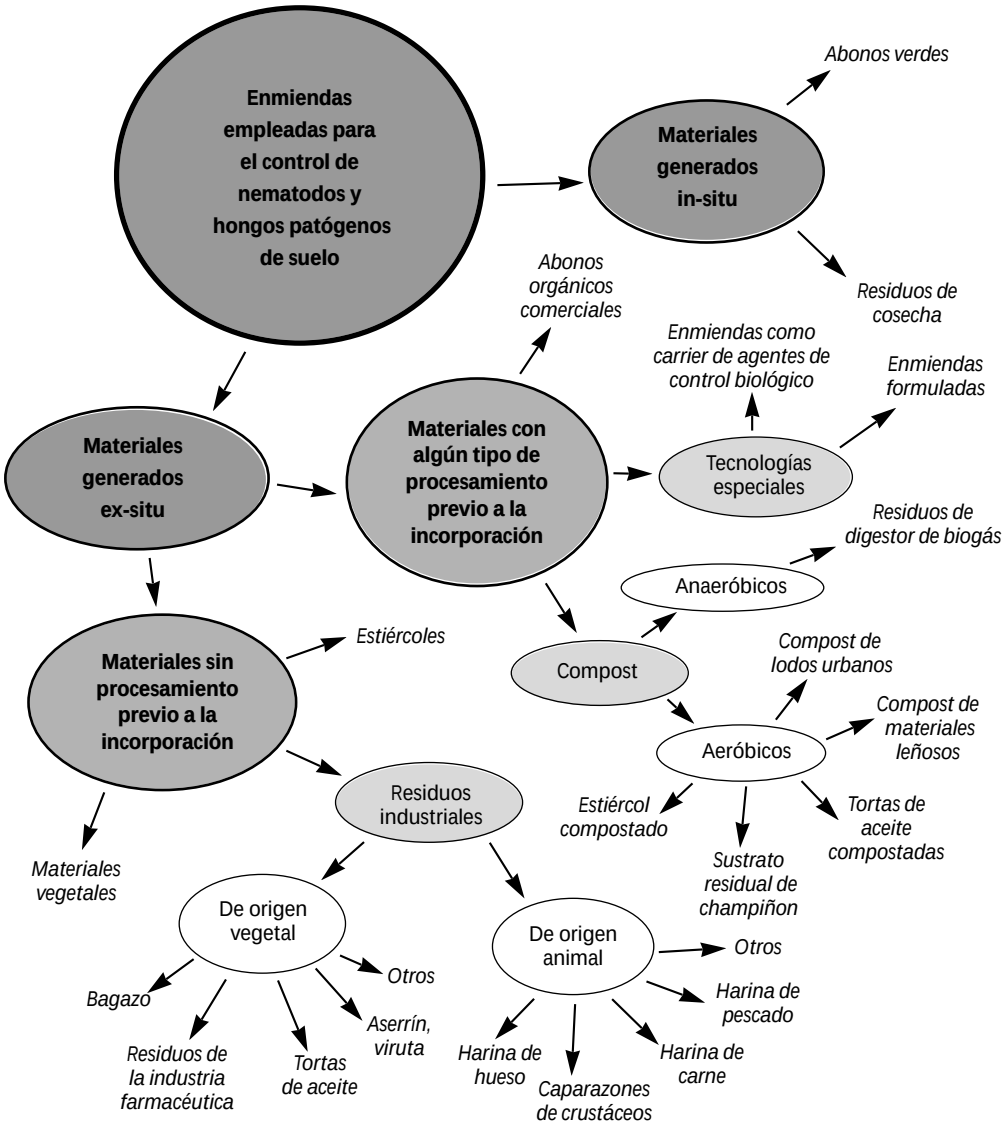
Si bien este capítulo se refiere concretamente al ámbito de las enfermedades originadas por parásitos habitantes del suelo, cabe mencionar que los materiales orgánicos residuales también se han empleado exitosamente en otros campos de la protección vegetal, tal como son el control de enfermedades en órganos aéreos (Weltzien, 1992) y malezas (Roe *et al.*, 1993).

3. El desarrollo histórico de la práctica

Si bien la primera publicación científica que refiere la posibilidad de controlar hongos de suelo mediante la adición voluminosa de materia orgánica aparece en la segunda década del siglo XX (Sanford, 1926), la capacidad supresiva que muchos abonos orgánicos presentan sobre enfermedades provocadas por hongos de suelo ya se conocía por la

Figura 1

Enmiendas orgánicas empleadas para el control de hongos de suelo y nematodos



evidencia empírica recogida en muchos sistemas agrícolas tradicionales (Kelman & Cook, 1979; Thurston, 1990). A lo largo del siglo la investigación referida al tema ha continuado en los ámbitos científicos de diferentes países buscando evaluar las posibilidades de aplicar la práctica en diferentes situaciones concretas y conocer los mecanismos que explican el fenómeno. Algunos descubrimientos han derivado en el establecimiento

de prácticas que luego se incluyeron con éxito en los planteos tecnológicos de rutina. Cabe mencionar en este sentido algunos puntos culminantes en la historia del desarrollo de esta tecnología. Maurer & Bark (1965), descubrieron que la quitina, material orgánico muy abundante en la naturaleza y presente en muchos subproductos de la industria pesquera y farmacéutica, presentaba un fuerte efecto supresivo sobre hongos patógenos de suelo. Experimentos desarrollados años más tarde confirmaron que estas propiedades se presentaban también sobre nematodos (Miller *et al.*, 1973). Durante la primera mitad de la década del 70 muchos viveros de plantas ornamentales en Estados Unidos debieron buscar sustratos que sirvieran de alternativa al uso de la turba, ante el encarecimiento de la misma. Esto los condujo al empleo de compost obtenido a partir de subproductos de la industria maderera. Se observó, con posterioridad a este cambio en el planteo productivo, que la incidencia de muchas enfermedades provocadas por hongos de suelo bajaba significativamente. Hoitink y colaboradores, desde 1976, estudiaron el fenómeno, confirmaron la supresividad en condiciones experimentales, investigaron sus causas probables y sentaron las bases para que la práctica se extendiera (Hoitink & Fahy, 1986). Sun & Huang (1985) desarrollaron, para el control de enfermedades provocadas por *Fusarium* spp. Link en Taiwán, el empleo de enmiendas formuladas, vale decir abonos mixtos realizados mediante la mezcla de varios constituyentes orgánicos aportados según proporciones preestablecidas y cantidades menores de productos minerales.

La investigación referida al control de nematodos con enmiendas orgánicas también ha sido abundante y fructífera. El primer antecedente científico experimental se reconoce en un trabajo de Linford *et al,.* (1938). Las investigaciones posteriores se han dirigido fundamentalmente al control de nematodos en sistemas agrícolas de subsistencia. Casi el 40 % de los estudios realizados entre 1971 y 1981 sobre manejo de nematodos con enmiendas orgánicas han estado referidos a cultivos típicos de pequeños productores en países en vías de desarrollo (Rodríguez-Kábana *et al.*, 1987). La práctica se ha estudiado particularmente en la India, donde el material evaluado con mayor profundidad fueron las tortas de aceite (Muller & Gooch, 1982). También aparecen con frecuencia referencias provenientes de países africanos. De cualquier manera, la materia también ha generado interés en los países desarrollados y varios investigadores de universidades norteamericanas, entre los que merece destacarse a R. Rodríguez-Kábana, se han abocado con profundidad al tema.

En la República Argentina esta práctica, tanto en su aplicación para nematodos como para hongos de suelo, aún tiene un desarrollo incipiente. Merece destacarse el trabajo de Roan *et al.*, (1992) referido al control de *Paratylenchus* spp. en apio, *Apium graveolens* L., mediante la adición de viruta. Varios centros de investigación en distintos lugares del país llevan a cabo actualmente líneas vinculadas al control de enfermedades provocadas por hongos de suelo mediante el uso de enmiendas orgánicas. Cabe mencionar en este sentido las experiencias de los grupos de fitopatología del convenio INTA-Universidad Nacional de Río Cuarto (empleo de residuos de cosecha y abonos verdes para el control de *S. rolfsii* en maní, *Arachis hypogaea* L.), de la Universidad Nacional del

Sur (abonos verdes y enmiendas orgánicas como medida de control de enfermedades en el marco de la producción orgánica), de la Universidad Nacional de Buenos Aires (efecto de la adición de lombricompuesto al suelo sobre enfermedades fúngicas) y de la Universidad Nacional de La Plata (control de enfermedades en cultivos hortícolas mediante la adición al suelo de enmiendas orgánicas).

4. Mecanismos asociados al control

Los mecanismos que llevan a reducir la incidencia y la severidad del daño provocado por hongos de suelo y nematodos con posterioridad a la adición de enmiendas orgánicas no han sido develados por completo. El fenómeno de supresión se explicaría por el efecto aislado o combinado de múltiples mecanismos que, en principio, pueden agruparse bajo cuatro categorías principales:

1) Liberación de sustancias tóxicas presentes en la enmienda antes de su incorporación. Cuando este mecanismo tiene lugar con hongos de suelo se encuadra dentro del fenómeno conocido como alelopatía: diversas especies de plantas superiores producen metabolitos secundarios que resultan inhibidores del desarrollo de otros organismos vegetales. Esta propiedad de la sustancia elaborada por la planta se conoce como "efecto aleloquímico" y es frecuente en ciertas familias botánicas. Muchas especies de compuestas y crucíferas sintetizan sustancias que tienen efecto tóxico frente a algunos hongos de suelo.

Si bien no es estrictamente alelopatía, la inhibición atribuible a sustancias metabólicas secundarias también afecta frecuentemente a nematodos fitoparásitos, fundamentalmente en diversas especies de compuestas, leguminosas y liliáceas. El conocimiento de este fenómeno da lugar a la aplicación de su efecto a través de diferentes prácticas culturales, una de las cuales es la incorporación al suelo del material vegetal de la especie apropiada, ya sea en forma de abono verde o de residuo seco producido "*ex-situ*".

2) Modificaciones microambientales que surgen de la estimulación de la actividad microbiana con posterioridad a la adición de la enmienda. La adición de enmiendas orgánicas al suelo produce, en el corto plazo, cambios microambientales físico-químicos de magnitud. Alguno de estos cambios, tales como el ascenso del pH y el ascenso en la presión parcial de CO_2, pueden presentar efectos detrimentales sobre algunos patógenos en particular. Rodríguez-Kábana *et al.*, (1990) explican que aquellas enmiendas con alta relación C/N suelen presentar efecto nematicida debido a la liberación de grandes cantidades de amonio.

3) Fenómenos de antagonismo atribuibles a microorganismos saprófitos presentes en la enmienda o estimulados a partir de la adición de la misma. Probablemente éste sea el fenómeno que más contribuya a explicar la supresividad que sigue a la adición de enmiendas en el caso de hongos de suelo. La adición al suelo de abundantes cantidades de materia orgánica provoca una explosión en la actividad microbiana saprofítica.

Hongos, bacterias y actinomicetes, crecen en abundancia y diversidad y esta estimulación de la microflora nativa puede desembocar, según Papavizas & Lumsden (1980), en múltiples mecanismos de antagonismo. De esta manera pueden aparecer procesos asociados al "control biológico natural", vale decir el que responde a la acción de microorganismos que ya estaban presentes en el agroecosistema y que no fueron aportados por acción antrópica, como ocurre en "control biológico inundativo" (ver Capítulo 15).

La estimulación de la flora microbiana se consigue preferentemente con enmiendas de alta relación C/N (v.g. paja de cereales, residuos leñosos) y por tanto es este el tipo de material a emplear cuando el fenómeno de supresividad se atribuye a mecanismos biológicos. En situaciones específicas algunas enmiendas de baja relación C/N promueven mecanismos biológicos de supresión. Tal el caso de la quitina, que estimula la generación biológica en el ambiente del suelo de enzimas quitinolícas que pueden afectar a la pared celular del hongo y a la cubierta de los huevos de nematodos.

El fenómeno de estimulación de la microflora saprófita se presenta casi inmediatamente después del agregado de la enmienda y los fenómenos de antagonismo que llevan al control biológico de organismos patógenos pueden tener lugar en el corto plazo. Sin embargo se ha comprobado que el mecanismo muestra la máxima eficiencia en aquellos terrenos donde la práctica sostenida de abonadura orgánica conduce al establecimiento de suelos más "sanos" (Sivapalan & Morgan, 1993; Workneh *et al.*, 1993). Esto representa un mayor efecto tampón o "buffer" frente al establecimiento de especies patógenas. Workneh & Van Bruggen (1995) y Buyer & Kaufman (1997), entre otros autores, señalan que los suelos manejados bajo los principios de la agricultura orgánica o de bajo nivel de insumos albergan poblaciones microbianas más diversas que las que se presentan en los agroecosistemas manejados convencionalmente. La diversidad específica constituye uno de los parámetros apropiados para pronosticar la capacidad de la microflora saprobia como agente de control biológico natural. Baker (1991) afirma que dos o más agentes de biocontrol podrían actuar mejor que uno solo en la supresión de una enfermedad: además de la posibilidad de que existan efectos aditivos o sinérgicos, la diversidad asegura la entrada en actividad de diferentes agentes ante cambios en las condiciones ambientales y la ocupación efectiva de un mayor número de nichos o sitios de infección.

4) Inducción de resistencia adquirida en el huésped. Se menciona como una de las causas que contribuyen a explicar el control de hongos patógenos la generación en el hospedante de resistencia sistémica adquirida. En ciertos casos, como una reacción ante la presencia de ciertas sustancias en la enmienda, la planta sintetiza sustancias que se translocan luego hacia todos los órganos y que la protegen frente a la infección y posterior colonización de ciertos hongos patógenos. Esta hipótesis parece adecuarse particularmente al caso de las enmiendas orgánicas ricas en quitina (caparazones de crustáceos, residuos de fermentadores para producción de antibióticos, compost residual de champiñón, etc.). Estas enmiendas pueden inducir la producción, por parte de la planta hospedante, de enzimas quitinolíticas que otorgan resistencia frente a la infección fúngica (Punja & Zhang, 1993).

5. Consideraciones finales

Ha sido mencionada hasta aquí la contribución que el empleo de enmiendas orgánicas significa para la agricultura en el campo de la protección de cultivos, motivo central de este capítulo. Son ampliamente conocidas, por otra parte, las propiedades reconstituyentes de las enmiendas sobre los parámetros fisicoquímicos de suelo, que han sido hasta hoy el motivo casi excluyente de su adopción por parte de los productores. Sin embargo el empleo de enmiendas orgánicas también puede significar un aporte sustancial a la conservación del ambiente considerado no sólo a nivel de predio sino a escala territorial. Existen muchos residuos para los cuales con frecuencia es difícil encontrar un destino útil y que, por lo tanto, pueden terminar por acumularse en los sitios de recolección convirtiéndose en fuentes puntuales de contaminación. Algunos de estos materiales, empleados como enmiendas, han mostrado controlar efectivamente los problemas sanitarios de algunas plantas cultivadas. Lumsden *et al.*, (1983) y Kuter *et al.*, (1988) redujeron la incidencia de enfermedades en plantas hortícolas y ornamentales mediante el agregado al suelo de compost proveniente de lodos urbanos. La adhesión de nuevos municipios al sistema de recolección selectiva de la basura y el consiguiente incremento en la generación de compost de residuos sólidos urbanos, estimula a investigar el potencial de este material como supresor de hongos y nematodos.

Otras prácticas de interés para la preservación ambiental, tal como la generación de energía a partir de fuentes renovables, se complementan del mismo modo con el uso de enmiendas en la protección vegetal, como lo demuestra el uso de compost anaeróbico proveniente de la generación de biogás para el control de hongos de suelo (Reisinger *et al.*, 1993). Sin embargo no deben dejar de mencionarse las posibles contraindicaciones de la práctica. Los dos efectos adversos más frecuentemente mencionados son la bioacumulación de metales pesados en productos de cosecha destinados a la alimentación (Chang *et al.*, 1987) y la generación de fenómenos de fitotoxicidad a corto o mediano plazo (González & Benítez, 1990).

Se ponen en consideración, para concluir, algunas pautas básicas a tener en cuenta en el diseño de estrategias para evaluar el uso de enmiendas orgánicas en la protección vegetal. Las investigaciones preliminares a la aplicación de la técnica deben tener por propósito elegir, para un caso específico, la enmienda más adecuada, la dosis más recomendable y la forma y el momento de aplicación más apropiados. El estudio de los antecedentes experimentales resulta muy útil en la medida en que puedan encontrarse entre los mismos situaciones extrapolables al caso en estudio, en lo que se refiere a los componentes del patosistema y las condiciones ambientales del agroecosistema. Es importante estar advertido sobre el hecho de que las enmiendas orgánicas prácticamente no pueden ser tipificadas y aun cuando puedan ser denominadas de forma similar presentan una gran heterogeneidad según su origen y las condiciones en que han sido generadas. Por esta razón merece conocerse el fenómeno que explica la capacidad supresiva y la característica química o biológi-

ca de la enmienda a la que se halla asociado. De esta manera ya no importa definir tanto la enmienda en cuanto a su origen sino en lo que respecta a su caracterización bajo parámetros físicos, químicos o biológicos normalizados y comparables.

Por otra parte, la adopción de una práctica particular de enmendado orgánico como método de control de enfermedades dependerá lógicamente de su factibilidad técnica y de su conveniencia económica. Hemos dicho que las enmiendas son, en su gran mayoría, materiales residuales. Esta condición tiene dos implicancias inmediatas de interés. Significa, por un lado, que la disponibilidad de la enmienda a costo mínimo dependerá de que no existan usos alternativos más convenientes (habitualmente el empleo en la alimentación animal) y, por otra parte, que los costos emergerán casi exclusivamente del transporte desde el lugar de origen. Casi sin excepción el enmendado sólo resulta factible cuando se emplean materiales generados relativamente cerca del sitio de aplicación. Esto sugiere la conveniencia de integrar la práctica de enmendado en tierras agrícolas con la gestión de los residuos industriales generados en los terrenos cercanos, de manera de garantizar la factibilidad económica de la práctica y obtener, como beneficio colateral, una reducción del impacto ambiental a escala zonal.

Baker R (1991) Diversity in biological control. Crop Protection 10:85:94.

Buyer JS & DD Kaufman (1997) Microbial diversity in the rizosphere of corn grown under conventional and low input systems. Applied Soil Ecology 5:21-28.

Chang AC, AL Pae & JE Warneke (1987) Longterm sludge applications on cadmium and zinc accumulation in swiss chard and radish. J Environ Oval 16:217-221.

De Waard MA, SG Georgepoulos, DW Hollomon, H Ishii, P Leroux, NN Ragsdale & FJ Schwinn (1993) Chemical control of plant diseases: Problems and prospects. Ann Rev Phytopathol 31:403-421.

González JL & JC Benítez (1990) Evolución de fracciones nitrogenadas y materia orgánica en compostajes de mezclas de estiércoles animales. Ciencia del Suelo 8:17-23.

Gullino ML & LAM Kuijpers (1994) Social and political implications of managing plant diseases with decreased availability of fungicides in Europe. Ann. Rev. Phytopathol. 32:559-579.

Hoitink HAJ & PC Fahy (1986) Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. Ann. Rev. Phytopathol. 24:93-114.

Kelman A & RJ Cook (1979) Plant pathology in the People´s Republic of China. Ann. Rev. Phytopathol. 15:409-429.

Kuter GA, HAJ Hoitink & W Chen (1988) Effects of municipal sludge compost during time on suppression of Pythium and Rhizoctonia diseases of ornamental plants. Plant Dis. 72:751:756.

Linford MB, F Yap & JM Oliveira (1938) Reduction of soil populations of root-knot nematodes during decomposition of organic matter. Soil Science 45:127-141.

Lumsden RD, JA Lewis & PD Millner (1983) Effect of composted sewage sludge on several soilborne pathogens and diseases. Phytopathology 73:1543-1548.

Maurer CL & R Baker (1965) Ecology of plant pathogens in soil. I. Influence of glucose, cellulose, and inorganic nitrogen amendments on development of bean root-rot. Phytopathology 55:69-72.

Miller PM, DC Sands & S Rich (1973) Effect of industrial residues, wood fibber wastes and chitin on plant parasitic nematodes and some soil-borne diseases. Plant Dis. Rep. 57:438-442.

Muller R & PS Gooch (1982) Organic amendments and nematode control. An Examination of the Literature. Nematropica 12:319-326.

Munnecke DE (1974) Factors affecting the efficacy of fungicides in soil. Ann Rev Phytopathol. 10:375-398.

Palti J (1981) Cultural practices and infectious crop diseases. Springer-Verlag, Berlin. 243 pp.

Papavizas GC & RD Lumsden (1980) Biological control of soilborne fungal propagules. Ann Rev Phytopathol. 18:389-413.

Punja ZK & YY Zhang (1993) Plant chitinases and their roles in resistance to fungal diseases. Journal of Nematology 74:749-754.

Reisinger O, S Durecu & F Toutain (1993) Effect of natural substances on plants: biological control of telluric phytopathogenic fungi by an antifungal compost. En: Humus, its structure and role in agriculture and environment. Kubat, J, (Ed.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam. pp. 143-153.

Ristaino JB & W Thomas (1997) Agriculture, Methyl Bromide, and the ozone hole. Can we fill the gaps? Plant Dis. 81:964-977.

Roan J, G Mareggiani & M García (1992) Efecto de una enmienda orgánica y nematicida sobre la dinámica poblacional de Paratylenchus sp. (Nematoda, Paratylenchinae) en apio. Rev. Facultad de Agronomía 13:227-231.

Roberts PA (1991) The future of nematology: Integration of new and improved management strategies. Journal of Nematology 25:383-394.

Rodríguez-Kábana R, D Boubé & RW Young (1990) Chitinous materials from blue crab for control of root-knot nematode. II Effect of soybean meal . Nematropica 20:153-168.

Rodríguez-Kábana R, G Morgan-Jones & I Chet (1987) Biological control of nematodes: Soil amendments and microbial antagonists. Plant and Soil 100:237-247.

Roe NE, PJ Stofella & HH Bryan (1993) Municipal solid waste compost suppresses weeds in vegetable crops alleys. Hort. Sci. 29:1171-1172.

Sanford GB (1926) Some factors affecting the pathogenicity of Actinomyces scabies. Phytopathyology 16:525-547.

Sivapalan A, WC Morgan & PR Franz (1993) Monitoring populations of soil microorganisms during a conversion from a conventional to an organic system of vegetable growing. Biological Agriculture and Horticulture. 10:9-27.

Sun S & J Huang (1985) Formulated soil amendment for controlling Fusarium wilt and other soilborne diseases. Plant Dis. 69: 917-920.

Thomason IJ & EP Caswell (1987) Principles of nematode control. In: Principles and practice of nematode control in crops. Brown, RH & BR Kerry, Eds. Academic Press, Australia. pp. 87-130.

Thurston HD (1990) Plant disease management practices of traditional farmers. Plant Dis. 74: 96-102.

Weltzien HC (1992) Biological control of foliar fungal diseases with compost extracts. In: Microbial Ecology of Leaves. Andrews JH & SS Hirano (Eds). Springer-Verlag, Berlin. pp. 430-449.

Workneh F & AHC Van Bruggen (1995) Microbial density, composition and diversity in organically and conventionally managed rhizosphere soil in relation to suppression of corky root of tomatoes. Appl. Soil Ecol. 1: 219-230.

Workneh F, AHC Van Bruggen, LE Drinkwater & C Shennan (1993) Variables associated with corky root and Phytophtora root rot of romatoes in organic and conventional farms. Phytopathology 83: 581-589.

Manejo de malezas en la agricultura sustentable

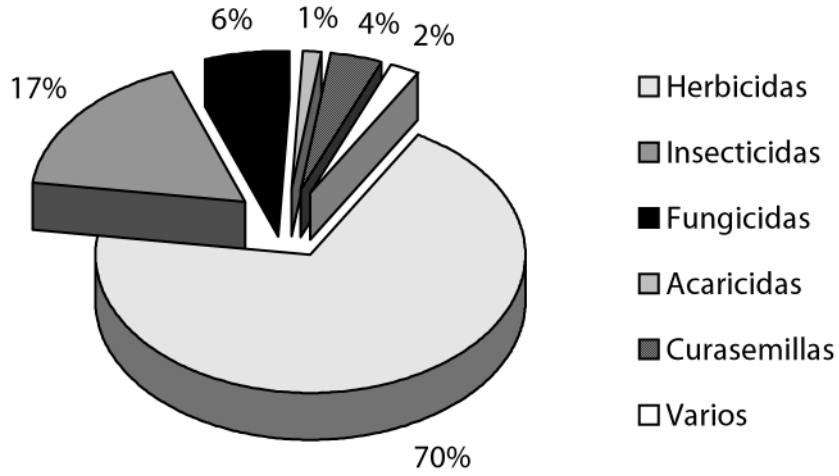
Horacio A. Acciaresi y Santiago J. Sarandón.

1. Introducción

Las malezas constituyen una de las principales limitaciones a la producción de los agroecosistemas. Prueba de ello es la gran cantidad de herbicidas que se utilizan actualmente para mantener esta adversidad en niveles que permitan la productividad de los cultivos. En Argentina por ejemplo, los herbicidas constituyen el 76% de los agroquímicos usados en la agricultura (Figura 1). A pesar que hace ya varios años que se han desarrollado y se usan enormes cantidades de productos de síntesis, el problema de las malezas, no sólo no ha disminuido sino que se ha acrecentado, poniendo en peligro la sustentabilidad de los sistemas agrícolas con alto uso de insumos. Es necesario entonces redefinir la forma en que este problema ha sido abordado hasta ahora.

Figura 1

Proporción de herbicidas sobre los pesticidas usados en la República Argentina en el año 1998. Fuente CASAFE, 1999 Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. Página de Internet. www.casafe.org



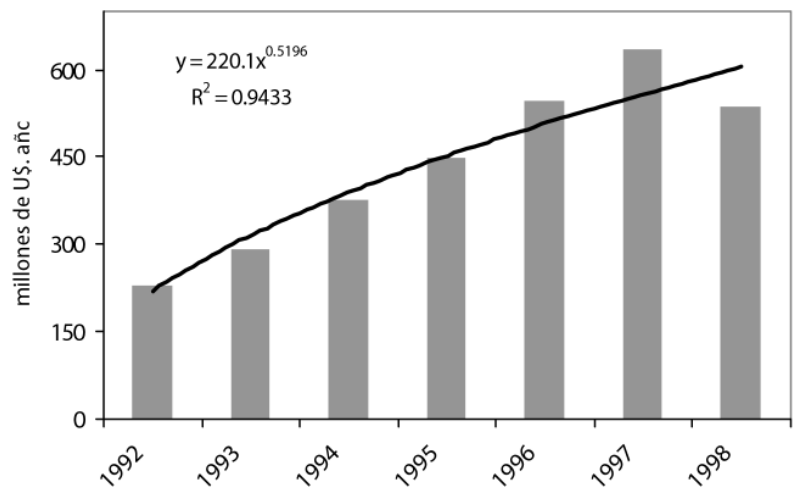
La presencia de malezas ha acompañado a la agricultura desde su mismo inicio, y su control ó erradicación, ha sido uno de los principales objetivos del hombre. Este aspecto nocivo, perjudicial y no deseado de las malezas queda expresado en las distintas definiciones que consideran las mismas como *"...plantas competitivas, persistentes y perniciosas. Interfieren con las actividades del hombre y por ende son indeseables...", "... plantas que llegan a ser perjudiciales en determinado lugar y en determinado momento...", "... planta objetable ó interfiere con las actividades ó bienestar del hombre..."*. Esta concepción de la vegetación espontánea acentúa sólo una de sus características y desconoce otros roles que esta vegetación cumple en el agroecosistema. La idea de eliminar la maleza predomina por sobre cualquier otro concepto de manejar dicha vegetación.

Sin embargo, es importante reconocer que las malezas son una consecuencia de la agricultura al llevar reiteradamente los agroecosistemas a etapas sucesionales tempranas, donde los nichos disponibles (recursos no utilizados) son colonizados por la vegetación espontánea pionera, que interfiriere de alguna forma con los cultivos y es considerada, por lo tanto, como maleza.

Los cambios en las prácticas agrícolas han ignorado generalmente los aspectos ecológicos que se plantean en el agroecosistema con su implementación. Los problemas de producción intentaron ser resueltos, desde la óptica simplista prevaleciente, mediante el agregado de fertilizantes, riego y agroquímicos, frecuentemente en forma excesiva (ver capítulo 1 de este libro).

La disponibilidad de energía a bajo costo y la aparición de los herbicidas de síntesis, generó expectativas acerca de la posibilidad de erradicar las malezas. Sin embargo, el uso de herbicidas durante muchos años, no sólo no las erradicó, sino que tampoco logró disminuir su uso y dependencia. Esto se observa, por ejemplo en la evolución en el uso de herbicidas en los últimos años en Argentina (Figura 2)

Figura 2



Evolución en el consumo de herbicidas en la República Argentina: En millones de dolares por año y línea de tendencia. Fuente CASAFE, 1999 Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. Página de Internet. www.casafe.org

Como contrapartida, este uso reiterado llevó a la aparición de ecotipos de malezas resistentes, a la disminución de la diversidad específica, a la modificación de la dinámica depredador-presa por la desaparición de las malezas como fuente de hospedantes alternativos ó secundarios y a distintas situaciones de contaminación ambiental.

El objetivo actual de la agricultura sustentable que consiste en mantener en el tiempo niveles productivos aceptables, sin degradar los recursos naturales, impone un cambio en el manejo que se ha venido haciendo de las malezas hasta ahora. La visión simplista, basada en la idea que éstas se pueden eliminar a través del uso de sustancias químicas, debe dar paso a una idea de manejo a largo plazo donde se busque mantener las poblaciones de malezas debajo de ciertos umbrales compatibles con la idea de una agricultura ambientalmente más sana, pero económicamente rentable.

Un manejo de estas características debe estar basado por un lado en una mejor comprensión del rol de las malezas como componente de los agroecosistemas y por el otro, en un mejor conocimiento de la biología y ecología de poblaciones.

2. El Rol de las malezas en los agroecosistemas

La necesidad de un cambio en el sistema de control por un sistema de manejo de malezas es reconocida por todos aquellos involucrados en los sistemas productivos. Pero las soluciones que se proponen varían de acuerdo a la percepción que se tenga del rol de este componente del agroecosistema. Así, para un enfoque clásico, tipo "Revolución Verde" la reestructuración del manejo de malezas se basa sólo en la aplicación de productos de bajo impacto ambiental, ó un menor uso de productos de síntesis, diminuyendo la posibilidad de aparición de resistencia a herbicidas. Pero se busca siempre el control (si es posible total) de las mismas. Un ejemplo de la puesta en práctica de este enfoque, es el desarrollo y difusión de los cultivos resistentes a distintas familias químicas de herbicidas, buscando eliminar las malezas pero con (un supuesto) bajo impacto ambiental.

Desde un punto de vista agroecológico, el replanteo en el manejo de malezas va más allá que estas premisas, considerando un rol ecológico diferente para la vegetación espontánea. Se considera a la maleza como integrante de un agroecosistema dinámico, permitiendo distintas vías de acción en cuanto a las alternativas a utilizar.

El papel ecológico de las malezas en un agroecosistema va mucho más allá de su efecto competitivo. En este sentido, Altieri (1997) destaca las consecuencias que pueden surgir al intentar eliminar en forma total a las mismas (Tabla).

La comprensión del rol de las malezas como componente ecológico es necesaria para conducir al desarrollo de estrategias para el manejo completo del agroecosistema, donde el énfasis sea puesto en el manejo de la maleza por sobre su control (Altieri, 1997) y donde el diseño e implementación de un manejo sustentable de malezas sea el objetivo buscado.

Tabla 1

Algunas consecuencias que podrían visualizarse si se intentara eliminar totalmente a las malezas de los agroecosistemas (de Altieri, 1997, modificado).

- Reemplazo de malezas susceptibles a herbicidas por ecotipos resistentes.
- Reducción de la diversidad genética de aquellas malezas relacionadas taxonómicamente con el cultivo.
- Transferencia de plagas y patógenos hospedadas en las malezas hacia los cultivos.
- Reducción de la fauna benéfica que empleaban a la maleza como fuente de alimento, refugio ó protección.
- Lixiviación de nutrientes que eran almacenados en la vegetación espontánea.
- Disminución en la eficiencia captación de recursos y producción de biomasa por el sistema.
- Diminución de la biodiversidad de la vida del suelo por uniformidad en el tipo de residuo incorporado.

3. Biología y Ecología de poblaciones: un conocimiento indispensable para el manejo sustentable de Malezas.

Para un manejo sustentable de malezas, el enfoque debe cambiar hacia el estudio de las interacciones entre organismos, que permitan conocer las relaciones biológicas, ecológicas y económicas que rigen el funcionamiento de los sistemas productivos (Navas, 1991). Este cambio en la dirección de la investigación requerirá un conocimiento de la constitución genética, de la ecología y de la fisiología de las poblaciones de las malezas en relación con aspectos socioeconómicos. La biología de las poblaciones es una disciplina de la ecología que concuerda con estos problemas.

La biología de las malezas relaciona atributos vegetales tales como la morfología, la germinación, los procesos de dormición, las características fisiológicas del crecimiento, la capacidad competitiva y la dinámica reproductiva de la especie. Aspectos tales como la dinámica del banco de semillas para especies anuales, la dinámica de las sustancias de reservas en las estructuras vegetativas, presencia de fenómenos de dormición y la longevidad de los propágulos para especies perennes pueden ser utilizados para predecir infestaciones de determinadas malezas y, de este modo, poder evaluar la sustentabilidad de las estrategias de manejo utilizadas.

Un manejo sustentable de malezas debe estar basado en una concepción holística y sistémica que permita ver a este componente de manera integral, percibiendo su interrelación con los otros componentes como así también las salidas y entradas de los agroecosistemas que afectan dicho componente.

3.1. Dispersión y banco de semillas

Dentro de especies anuales, la dispersión de semillas es un proceso de suma importancia en la dinámica de la especie. Las semillas de malezas pueden dispersarse distancias

cortas ó largas, debido a mecanismos de dehiscencia natural, viento, agua, animales ó por intermedio de la actividad humana. La implementación de alternativas específicas de manejo puede reducir la dispersión causada por el hombre dentro de un mismo lote, como lo demostraron Ballaré *et al.*, (1987) en un estudio sobre los cambios en la dispersión de semillas de chamico *(Datura ferox)* asociados al reemplazo del cultivo de maíz *(Zea mays)* por el de soja *(Glycine max)* iniciado a fines de la década del ´70 en la Pampa Ondulada argentina. Cuando se cultivaba maíz, las características de la plataforma de la cosechadora, generaba pequeños "manchones" muy densos de plantas de chamico que crecían bajo una alta competencia intraespecífica (alta densidad) y generaban un bajo número de semillas en relación con aquellas que crecían en forma aislada. El reemplazo del cultivo de maíz por el de soja implicó un cambio en la tecnología utilizada. La plataforma sojera, más eficiente en la captación y trilla de la semilla de chamico respecto de la de maíz, se convirtió en un eficaz medio de dispersión de la especie. De este modo, se obtenían nuevos focos de infestación dentro del lote con baja competencia intraespecífica y por ende con mayor capacidad para producir semillas. Aún bajo una fuerte acción de control químico la capacidad de diseminación de la especie no se veía influenciada.

La comprensión del funcionamiento del banco de semillas y los efectos que tienen distintas prácticas de manejo (herbicidas, sistemas de labranza) sobre dicho banco, es esencial para predecir los cambios que puedan ocurrir en la composición de las malezas y así ajustar estrategias de manejo para nuevos sistemas de labranza, como los llamados conservacionistas.

Las especies anuales de malezas constituyen el principal aporte de semillas al banco edáfico. Dado que la mayoría de las especies de malezas son anuales, el estudio del banco de semillas es un adecuado punto de partida para este manejo integrado de malezas (Dessaint *et al.* 1997). Este banco (semillas viables en el suelo y sobre la superficie) es la principal fuente de especies anuales en los cultivos de cereales y oleaginosas (Cardina *et al.*, 1991). El tamaño y composición de este banco, como así también las malezas germinadas, reflejan el pasado y el presente del manejo del suelo, del cultivo y de las malezas (Roberts, 1981). La reducción de este banco de malezas ha sido una de las principales estrategias de manejo, fundamentalmente en sistemas de agricultura permanente. La dinámica de este banco es afectada por factores físicos, biológicos y de manejo que interactúan en el tiempo y condicionan el número de especies de malezas presentes en el suelo (Cardina *et al.*, 1991).

Las prácticas de manejo modifican las cantidades de semillas que ingresan y egresan del banco. Así, en ausencia de ingresos de semillas, el banco decrece más rápidamente con el empleo de labores mecánicas (escardillo) que en ausencia de ellas (Buhler, 1995). No obstante, los sistemas de siembra sin laboreo, con residuo en superficie pueden limitar las semillas del banco al favorecer el desarrollo de una mayor abundancia y diversidad de coleopterofauna, (Marasas *et al.*, 1997) especialmente algunas especies como los carábidos, importantes consumidores de semillas de malezas. En este sentido, Brust (1994) comprobó que la presencia de estos insectos podía disminuir el número de semillas de *Chenopodium album* y *Amaranthus retroflexus* entre un 56 y 66% respectivamen-

te respecto a un tratamiento control sin carábidos.

El empleo de herbicidas también causa un gran impacto en la dinámica del banco de semillas. Schweizer & Zimdahl (1994) mostraron una reducción del 98% en el banco de semillas en una monocultura de maíz debida al uso de atrazina durante 6 años. Pero al discontinuar su uso por 3 años, el banco de semillas aumentó su densidad a la mitad de los valores que poseía antes del comienzo de las aplicaciones. La dinámica del banco de semillas en un determinado lote puede cambiar bajo cualquier manejo integrado de malezas, debiendo estos cambios ser reconocidos e integrados en los estudios de demografía de malezas (Bhowmik, 1997).

3.2. Estudio de dinámica poblacional de las malezas

Los estudios en la dinámica poblacional, como parte de la ecología de poblaciones, consisten en la evaluación a través del tiempo de los cambios del número de individuos ó de la biomasa dentro de una determinada población. Los mismos pueden dividirse en tres tipos de estudios: demográficos, mecanicísticos y de largo plazo.

Los *estudios demográficos* brindan información acerca de los mecanismos ecofisiológicos que regulan la población de malezas. Por medio de estos estudios es posible determinar aquellos procesos y momentos sobre los cuales habría que actuar para producir un fuerte impacto poblacional (Sagar & Mortimer, 1976).

Un ejemplo de ello es el trabajo de Scursoni *et al.*, (1999) sobre competencia de *Avena fatua* con cebada *(Hordeum vulgare)*. Encontraron que un incremento de la densidad del cultivo desde 160 $pl.m^{-2}$ hasta 280 $pl.m^{-2}$ redujo en un 50% la cantidad de semillas de maleza que ingresó al banco debido a una disminución en la fecundidad de las mismas A su vez, la cantidad de semillas de maleza que ingresaban al banco cuando crecía en competencia con cebada era la mitad de la que lo hacía creciendo con trigo *(triticum aestiuum)*, debido a una menor tasa reproductiva y a una menor tasa de dispersión, producto de la cosecha anticipada de cebada respecto a trigo.

Los *estudios mecanicísticos*, tratan, a partir de los procesos puestos de manifiesto en la etapa anterior, de establecer la ocurrencia espacio-temporal de los mismos a través de relaciones que vinculen los factores ambientales y las tasas de las etapas bajo estudio. Aquí se busca determinar inequívocamente el momento de máxima sensibilidad de una determinada población de malezas. Neeser *et al.*, (1998) desarrollaron un modelo mecanicístico de la dinámica poblacional de *Cyperus rotundus* en el cual combinaron variables biológicas (como la edad del tubérculo y la densidad de la población) con variables que reflejan la competencia del cultivo por radiación fotosintéticamente activa y el nivel de control de la maleza para calcular la fecundidad y la supervivencia de la especie. Ante la ausencia de control (efectividad cero), la radiación fotosintéticamente activa fue la variable de mayor incidencia en el tamaño de la población y la interferencia intraespecífica (entre las plantas de malezas) fue el determinante más importante del incremento de la población.

Otro estudio de la dinámica poblacional en sorgo de Alepo *(Sorghum halepense)* permitió establecer el período de máxima susceptibilidad a la aplicación de herbicidas (Ghersa *et al.*, 1990). El momento de mínima biomasa de rizomas se alcanzó cuando aproximadamente el 46% de los vástagos habían emergido, momento que ocurría cuando se habían acumulado 300-315 unidades térmicas (temperatura base de 15°C). Este modelo ha sido sumamente útil para predecir el momento de mínima biomasa y de este modo optimizar el uso de herbicidas. Estos estudios demuestran que el conocimiento conjunto de la demografía y la relación con los factores que la gobiernan permiten desarrollar alternativas que pueden integrarse en un sistema de manejo de malezas.

Por último, dentro de la ecología de malezas se encuentran los *estudios de largo plazo*, los cuales permiten diseñar nuevas estrategias de manejo basadas en las respuestas sucesionales y evolutivas de una población de malezas, a la vez que permiten determinar el éxito de un programa de manejo de malezas y la validación de los modelos de simulación de la dinámica poblacional. Estos estudios llevan a cabo un seguimiento de la abundancia de la maleza para determinar si dicha población ha crecido al punto tal que es esperable que afecte significativamente la producción de un determinado cultivo.

En síntesis, la comprensión del rol de las malezas en el agroecosistema, sus interacciones con los demás componentes y el estudio de la dinámica poblacional de las mismas, son elementos indispensables para el desarrollo de métodos de manejo de malezas para lograr sistemas agrícolas sustentables.

4. Manejo sustentable de Malezas

El manejo sustentable de malezas (MSM) tiene como objetivo lograr sistemas donde el control de malezas se realice sólo cuando sea estrictamente necesario considerando, a largo plazo, todos los efectos ambientales y económicos y la repercusión ó impacto sobre otros componentes del sistema. Dentro de este enfoque se han comenzado a desarrollar distintas tendencias ó métodos alternativos, entre los cuales el manejo integrado de malezas (MIM) surge como una herramienta apropiada para integrarla en este esquema.

El MIM es parte integrante del manejo del cultivo, por lo cual cualquier técnica que apunte a reducir los niveles de infestación de las malezas (cultural, biológica, mecánica ó química) debe estar en armonía con el programa de manejo del cultivo, primordialmente con aquellos programas de manejo integrado de plagas y enfermedades. El MIM está concebido y dirigido para ser económica, ambiental y socialmente aceptable (Swanton & Murphy, 1996), involucrando el uso de tácticas biológicas y físicas en forma integrada, justificando el uso de herbicidas sólo por encima de determinado umbral y cuando su empleo sea adecuado desde un punto de vista ambiental y económico (Lyon *et al.*, 1996).

En general, hasta ahora, ha habido un sesgo hacia el desarrollo de estrategias de manejo de malezas que buscan satisfacer principalmente objetivos económicos. El esce-

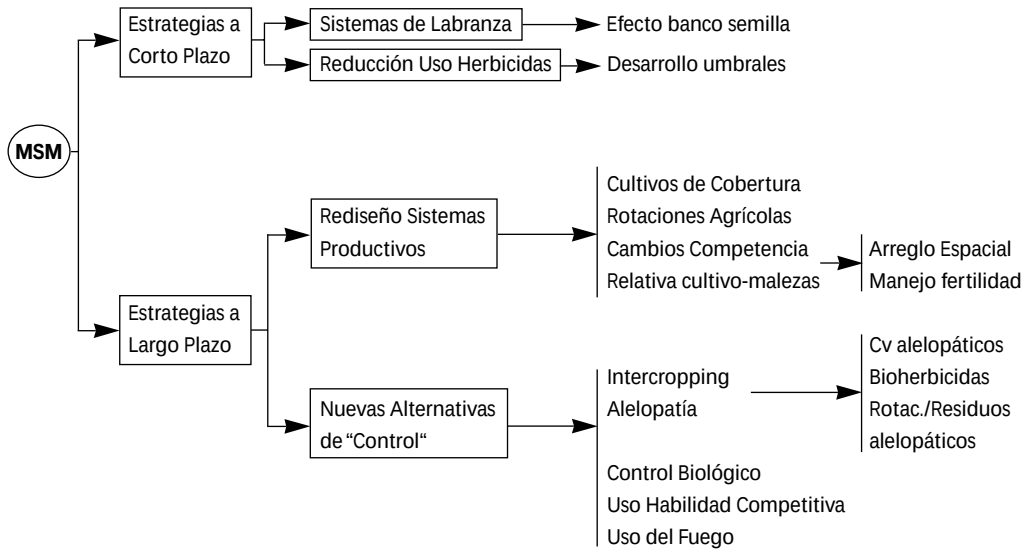
nario de una agricultura sustentable exige considerar a los sistemas agrícolas y al manejo de malezas como parte integrante de interacciones socioeconómicas y medioambientales. Está claro que la productividad de los cultivos no puede ser hecha a costa de la degradación ó contaminación de los recursos.

Sin embargo, estos cambios no pueden realizarse abruptamente. Su logro requiere la conjunción de acciones en el corto y en el largo plazo (Buhler, 1996). El *corto plazo* implica avanzar en el conocimiento de aquellas tecnologías que buscan remover la presencia de la vegetación espontánea de determinado agroecosistema. Se basan en el conocimiento existente, proveen beneficios inmediatos y permiten la transición hacia sistemas agroecológicos de producción. Ninguno de las alternativas de corto plazo requieren cambios sustanciales en los sistemas de producción.

El *largo plazo* se basa en alternativas de manejo de malezas que incorporan un mejor conocimiento de la biología y ecología de poblaciones, las interacciones cultivo-maleza y de las malezas con otros componentes del sistema, con el manejo sitio-específico, el rediseño de los actuales sistemas de producción (rotaciones, nuevos sistemas de labranzas, uso racional de los recursos) y el desarrollo y puesta a punto de nuevos métodos de "control" (biológico, alelopatía, cultivares competitivos, uso de policultivos, empleo del fuego). Este enfoque, a diferencia del anterior requiere un cambio en el manejo de los sistemas de producción a la vez que implica una mayor inversión en investigación y desarrollo previo a su puesta en marcha (Buhler, 1996).

Figura 3

Esquema de un Manejo Sustentable de Malezas (MSM) (Ver detalle en el texto)



4.1. Estrategias de manejo de malezas a corto plazo

La mayoría de las tecnologías de corto plazo se centran alrededor del uso apropiado de los sistemas de labranza, la disminución del uso de herbicidas y el uso de umbrales dentro de los actuales sistemas de producción.

4.1.1. Empleo de los sistemas de labranza

Los sistemas de labranza han sido señalados como una herramienta eficaz, tanto para reducir los propágulos de malezas hacia el banco de semillas como la disminución de la emergencia de las mismas. Las labores para la preparación de la cama de siembra pueden reducir el número de malezas anuales presentes, especialmente si la siembra del cultivo se retrasa para permitir la germinación de las mismas. Lo mismo ocurre con la población de malezas que emerge luego de la siembra del cultivo. Dejar las semillas de las malezas sobre la superficie del suelo a fin de someterlas a la acción extrema de la temperatura y la radiación solar, conjuntamente con el laboreo poco profundo son prácticas frecuentemente recomendadas para disminuir el flujo de semillas y propágulos hacia el banco de semillas (Altieri, 1997).

La modificación de la superficie del suelo por acción de las labranzas modifica el ambiente en el cual las semillas germinarán, pudiendo encontrarse especies que se favorecerán ó no con el laboreo, otras que no muestren respuesta ó la misma sea errática (Wicks, *et al.*, 1994).

La incorporación, en los últimos años, de los sistemas de labranza denominados conservacionistas, con menor remoción de suelo, ha sido uno de los cambios más importantes que ha tenido lugar hacia el desarrollo de sistemas agrícolas sustentables (Swanton & Wyse, 1991), sobre todo por la eficacia en el control de la erosión edáfica. La aparición de herbicidas no selectivos y herbicidas residuales ha hecho posible el desarrollo de sistemas de siembra directa sin laboreo (Moyer *et al.*, 1994). Esto cambio impactó en el manejo de malezas de los sistemas agrícolas actuales más que cualquier otro cambio implementado (Doersch & Buhler, 1988). La imposibilidad del control mecánico ha incrementado, en algunos casos, el uso de herbicidas (Buhler & Proost, 1992), observándose un aumento de las dosis utilizadas respecto a sistemas de labranza convencional (Derksen *et al.*, 1996).

Algunos autores consideran incluso que la difusión masiva de estos sistemas tornará más dificultoso el manejo de malezas y que éstas cambiarán hacia aquellas especies consideradas más difíciles de manejar: perennes, especies de hojas angostas y de diseminación anemófila (Thomas & Frick, 1993). Puricelli & Tuesca (1997) señalan que la siembra directa conduce en la mayoría de los casos, a una reducción en la abundancia de numerosas malezas latifoliadas en el largo plazo y a un aumento de las gramíneas anuales respecto a la labranza convencional. Sin embargo, en un ensayo llevado a cabo en Canadá, Derksen *et al.*, (1993), no encuentran un cambio consistente en la comunidad de 55 especies de malezas (incluyendo latifoliadas y gramíneas) entre sistemas de labranza convencional y siembra directa en 3 localidades luego de 5 años de ensayo. Los auto-

res concluyen que los cambios en la comunidad de malezas fueron más influenciados por el año ó la localidad que por las prácticas de labranza.

Una de los principales objetivos de los sistemas conservacionistas es la conservación de un residuo vegetal en superficie que evita la erosión. Pero la presencia de residuos modifica el comportamiento de los herbicidas (Johnson *et al.*, 1989), debido a una acción mecánica y a su accionar a través de su adsorción, degradación, ó cambios en la residualidad relacionados con aumentos de la materia orgánica, cambios en el pH ó procesos microbianos que tienen lugar en los residuos. La eficiencia de los herbicidas en estos sistemas es afectada, tanto por la interceptación realizada por la cobertura superficial, como por los cambios operados en la dinámica poblacional de las malezas (Buhler, 1995). El porcentaje de herbicidas preemergentes que alcanza el suelo depende, entre otras cosas, del tipo y cantidad del residuo y de las características propias del herbicida aplicado (Puricelli & Tuesca, 1997). Por lo tanto, la elección adecuada de los herbicidas y de los tiempos de aplicación son un aspecto crítico en los sistemas de labranza conservacionista. Es necesario conocer la biología y la ecología de las malezas en sistemas de labranza conservacionista a fin de no incrementar el uso de herbicidas a niveles que serían inaceptables, tanto desde el punto de vista económico como ambiental (Buhler, 1995).

Numerosos trabajos han determinado que la presencia de residuo incide sobre la temperatura del suelo, la evaporación, el escurrimiento superficial, el patrón de humedad, la distribución de las semillas de malezas en el perfil del suelo y la modificación de la calidad de la luz incidente en la superficie del suelo, entre otros. Estos cambios entonces pueden modificar la dinámica de la población de malezas debido a la sensibilidad de respuesta que estas presentan en su semilla. Harper *et al.*, (1965) utilizaron el término sitio seguro para describir el complejo de situaciones necesarias para la germinación y establecimiento de una plántula, las que varían en función de la especie vegetal involucrada (Dao, 1987, Mester & Buhler, 1991) y de los requerimientos de temperatura para germinar (Wiese & Binning, 1987). Estos factores, asociados con el disturbio físico causado por las labranzas regulan la dinámica poblacional de las malezas en los sistemas productivos.

El escaso conocimiento actual de la relación existente entre los sistemas agrícolas de producción y la dinámica poblacional de malezas es una de las razones principales de la frecuente dificultad encontrada en el manejo de malezas dentro de estos sistemas conservacionistas y la dependencia del uso intensivo de herbicidas. El desafío es entonces, minimizar el uso de herbicidas y las labranzas manteniendo la cobertura de residuos para el control de la erosión y el manejo del agua en el suelo. Para ello será necesario comprender la dinámica poblacional de las malezas y su respuesta a los sistemas de labranzas.

Efecto sobre el banco de semillas

Los sistemas de labranza son una de las principales causas del movimiento vertical de semillas dentro del banco de malezas (Buhler *et al.*, 1996). En un ensayo, luego de 5 años de labranza con arado de reja, se encontró que el banco de semillas poseía una dis-

tribución uniforme a distintas profundidades respecto de la labranza con cincel ó siembra directa (Yenish *et al.*, 1992). En este último sistema más del 60% de las semillas de malezas halladas se encontraban dentro de un estrato de 1cm desde la superficie del suelo, mientras que con cincel se hallaron el 30% en el mismo estrato. Clements *et al.*, (1996) encontraron dentro de los primeros 5cm del suelo más del 60% de la totalidad de semillas de malezas del banco bajo siembra directa y cincel. Pareja *et al.*, (1985) establecieron que la mayoría de las semillas se hallan en la porción desagregada del suelo con labranza conservacionista (cincel), en tanto que la labranza convencional (reja) incorpora semillas de malezas a mayor profundidad en el perfil y asociadas a porciones estructurales mayores (agregados de mayor tamaño).

De este modo, la sustentabilidad de los sistemas conservacionistas depende en gran medida de la habilidad del productor agropecuario para manejar las malezas que evolucionen dentro de los mismos. La sustentabilidad es más que un grupo de prácticas determinadas (Derksen *et al.*, 1996) y los sistemas conservacionistas son un componente de la agricultura sustentable (Lal, 1989). El diseño e implementación de un manejo integrado de malezas mejoraría la sustentabilidad de los sistemas conservacionistas al disminuir el empleo de agroquímicos. De esta manera, sistemas agrícolas de bajos insumos y labranzas conservacionista pueden sustentarse mutuamente (Flach, 1990).

4.1.2. Reducción en el uso de herbicidas

El diseño de sistemas productivos sustentables requiere restringir el uso de herbicidas en el agroecosistema. Esto puede lograrse con el empleo de dosis reducidas, la aplicación en banda (sobre la hilera del cultivo) ó el uso conjunto de ambas metodologías (Rosales Robles *et al.*, 1999).

Estudios en el Estado de Iowa (EEUU) en 64 localidades diferentes sobre el cultivo de maíz, determinaron un pequeño incremento del 1% en las poblaciones de malezas y una merma de sólo el 8% en el rendimiento del cultivo con aplicaciones en banda (Hartzler, 1993). Distintos estudios llevados a cabo con maíz y soja han demostrado la utilidad de las dosis reducidas en el mantenimiento de la producción de ambos cultivos (Doll *et al.*, 1992). Estas tecnologías se ven influenciadas por el equipo de aplicación, condiciones ambientales y edáficas, especie de maleza presente, su tamaño y la presión del pulverizado.

La posibilidad de disminuir las dosis, el número de tratamientos y la superficie tratada, estará en función de la situación particular de cada productor agropecuario y de la presión de malezas.

Esta alternativa tecnológica se complementa con el control mecánico, alternativa viable bajo determinadas condiciones en muchos sistemas de producción (Gunsolus, 1990). Experiencias de aplicación de herbicidas en dosis reducidas, con el uso del escardillo y el laboreo en contorno en maíz han resultado ser un esquema de manejo de suma efectividad (Buhler *et al.*, 1994).

La implementación de este tipo de metodología requiere realizar un seguimiento de todos los lotes y tomar registros de la vegetación espontánea en los distintos sectores del campo a lo largo de los años. Se debe valorar, no sólo las poblaciones que surgen, sino también sus patrones de distribución. Esto permitiría un manejo tendiente a disminuir la presión de las malezas y consecuentemente bajar el uso de herbicidas en dichos sectores.

A pesar que muchas de estas prácticas son agronómicamente posibles, requieren contar con capacidad para evaluar correctamente si las malezas presentes han alcanzado significación económica, si están compitiendo con el cultivo ó usando recursos no aprovechados. Este aspecto puede resultar, en muchas situaciones, la principal dificultad a superar para su generalización.

Desarrollo y uso de umbrales en la aplicación de herbicidas

El empleo de umbrales y de modelos para la aplicación de herbicidas ha sido propuesto como un medio para reducir su uso (Wilkerson *et al.*, 1991, Swinton & King, 1994). Esto constituye un avance sobre la aplicación preventiva de herbicidas y la realizada sólo ante la mera presencia de malezas.

Los umbrales propuestos por estos modelos se basan en la estimación de la presión potencial que las malezas puedan ejercer y su efecto sobre los costos y las pérdidas a corto y a largo plazo. El cálculo de este umbral requiere conocer los precios de los herbicidas, la tendencia de los precios del cultivo involucrado y la predicción confiable de la pérdida de rendimiento causada por las malezas al momento de tomar la decisión de controlarlas. Este enfoque no busca plantear alternativas de control, siendo sólo un recaudo para realizar la aplicación pertinente de herbicidas por encima de determinado umbral. No incluye aspectos de preservación del ambiente en su formulación, pero constituye un avance en el rediseño del control de malezas.

Para resolver estos problemas se ha propuesto el *umbral económico óptimo.* Tiene en cuenta, además de las variables económicas del modelo clásico, el aporte potencial al banco de semillas del suelo que un determinado nivel de maleza puede ejercer y la productividad del manejo de malezas a largo plazo (Cousens, 1987).

A pesar de los numerosos trabajos realizados sobre umbrales a largo plazo, sobre las estimaciones del aporte a los bancos de semillas y sobre los efectos de las malezas sobre los cultivos, estos modelos poseen en general poco uso práctico. Entre las causas puede mencionarse la carencia de una metodología para evaluar el impacto de las malezas en amplias áreas y la falta de información acerca de la producción de semilla por la vegetación no controlada. O´Donovan (1996) establece que la implementación de protocolos estándar para la realización de estudios a través de varios años y entre distintas localidades, mejoraría la relevancia y la precisión de los modelos de interferencia, como herramienta para ser incluida en un manejo integrado de malezas. A su vez, muchas veces son complejos, lo que los hace inadecuados como herramienta de uso frecuente de los productores.

A pesar que la definición y el uso de umbrales aparecen como un intento más racional para el uso de herbicidas, aun queda mucho por mejorar. En un futuro debería desarrollar-

se el concepto de *umbral económico sustentable:* este sería el nivel poblacional de malezas, ya sea medido a través de su densidad, su biomasa ó el porcentaje de cobertura, por encima del cual el costo de controlarlas es inferior al de las pérdidas en que se incurre cuando no se controla, teniendo en cuenta, además el rol que las malezas cumplen en el agroecosistema y en el cual la competencia con el cultivo es sólo uno más. Sólo cuando el efecto de la competencia ó el daño por problemas de cosecha, sea superior a los beneficios de su presencia, debería decidirse su control. Como ejemplo, puede destacarse el rol que algunas especies cumplen como refugio ó alimento de especies de insectos benéficos. La eliminación de esta vegetación puede, por un lado disminuir la competencia con el cultivo, pero por el otro, aumentar el daño por plagas ó el costo de controlarlas.

Esta claro que el manejo y aceptación de este concepto sólo será posible si se dispone de un mejor conocimiento de las malezas no sólo desde el punto de vista de su dinámica sino de las interacciones de este componente con los otros del agroecosistema y una redefinición de los objetivos económicos del productor agropecuario. Si bien su diseño e implementación surgen como aspectos de difícil concreción, esta es una tarea de investigación que no debería dejarse de encarar dentro del diseño de un programa de MIM.

4.2. Estrategias a largo plazo

Estas estrategias son más difíciles de definir que las alternativas de reducción del uso de herbicidas, encuadradas en el corto plazo. Por ello, es muy importante reconsiderar los procesos de investigación de malezas (al nivel de ciencia y tecnología) si lo que se pretende es obtener alternativas de manejo de malezas que involucren el resguardo ambiental y la rentabilidad del productor agrícola.

Pretender solucionar problemas con la misma tecnología que los ha ocasionado resulta generalmente, en una situación igual ó peor que la existente. Un ejemplo claro lo representa el problema de la resistencia a herbicidas encontrada en distintos ecotipos de malezas. Dentro del esquema convencional intenta ser resuelto por medio del uso de nuevos y diferentes tipos de herbicidas, lo que conlleva el riesgo de aparición de resistencia múltiple y/o cruzada, eliminando la posibilidad de uso de cada uno de los principios activos que controlaban determinada especie.

Los sistemas de producción actuales están focalizados en el uso de monocultivos en ausencia de adversidades biológicas toda vez que sea posible, destinando las medidas de control a la eliminación de los organismos indeseables. Este objetivo ha sido justificado por la idea que las poblaciones de malezas son muy difíciles de prevenir una vez establecidas y que las plantas no controladas contribuyen a infestaciones futuras, causando pérdidas económicas directas cuando permanecen sin control.

Sólo las alternativas basadas en la comprensión de los fundamentos bioecológicos de la asociación cultivo-maleza podrán brindar nuevas estrategias ó un mejor conocimiento de las ya existentes.

Dentro de este nuevo enfoque se encuentran alternativas de manejo que involucran un mayor conocimiento de la biología y ecología de poblaciones, el manejo sitio-específico, el rediseño de los sistemas actuales de producción (incremento de la diversidad por medio de las rotaciones, el mejoramiento del uso de los recursos, nuevos sistemas de labranza) y las nuevas alternativas de "control" de malezas.

4.2.1. Rediseño de los sistemas productivos

Uno de los objetivos del manejo sustentable de malezas es pasar de un manejo curativo a un manejo preventivo que busque minimizar el efecto de las malezas sobre la producción a largo plazo.

Existen alternativas de manejo de malezas a largo plazo que involucran el *rediseño de los sistemas de producción,* como elementos necesarios a ser tenidos en cuenta para el desarrollo de sistemas sustentables. Dentro de ellos es posible incluir prácticas tales como el empleo de *cultivos de cobertura, las rotaciones,* la modificación del *diseño de siembra,* el manejo *nutricional* del cultivo, todos ellos juntamente con la utilización del *control mecánico* cuando sea posible.

Uso de cultivos de cobertura

El uso de los cultivos de cobertura (CC) intenta disminuir la presencia de malezas en el cultivo y puede ser usado en siembra con el cultivo en pie ó como residuo sobre el suelo para interferir en la emergencia de las malezas previo a la siembra del cultivo de interés.

Estudios llevados a cabo en soja por Moore *et al.*, (1994) mostraron que la cobertura y la biomasa producida por el CC favorecieron la competencia del cultivo con las malezas. No obstante estos autores llaman la atención sobre la fecha de siembra del CC, pues los CC sembrados en otoño-invierno, compiten satisfactoriamente con las malezas del mismo ciclo, pero la descomposición del residuo hacia la primavera puede disminuir la efectividad de la cobertura en su acción contra las malezas de emergencia primavero-estival. Para evitar este inconveniente, los autores establecen que es posible elegir un CC que posea la capacidad de vegetar en invierno para que su residuo pueda realizar una acción de interferencia sobre las malezas de emergencia primaveral. En este caso recomiendan el uso de un herbicida de rápida acción (tal como el glifosato) para complementar la efectividad del CC.

Williams *et al.*, (1998) estudiaron el efecto de la competencia de *Amaranthus spp.* y *Setaria spp.* sobre el cultivo de soja usando residuos de trigo, cebada, centeno *(secale cereale)*, triticale y vicia *(Vicia villosa)* como cultivos de cobertura sembrados en otoño y desecados en primavera antes de la siembra de la soja. Encontraron que la producción de biomasa de *Amaranthus spp.* fue reducida entre 38 y 71% tres semanas luego de la siembra de soja y la de *Setaria spp.* entre un 37 y 97% cinco semanas luego de la siembra con respecto al testigo sin CC. Concluyen que al disminuir sensiblemente la biomasa de malezas en postemergencia, esta técnica tiene un gran potencial para integrarse con otras

prácticas de MIM como la aplicación de dosis reducidas de herbicidas en postemergencia y el laboreo entre surcos.

Según algunos autores, aunque el rol de los CC puede ser muy importante en sistemas de labranza conservacionista, debe ir acompañado con prácticas alternativas tales como el uso de herbicidas para optimizar el control (Teasdale, 1996). Swanton & Murphy (1996), por otra parte, mencionan que la utilidad de los CC es limitada, pues a pesar de incrementar la humedad edáfica y disminuir las fluctuaciones de temperatura del perfil, no han podido ejercer influencia en la germinación, densidad ó biomasa de las malezas debido a la gran variabilidad espacial y temporal que presentan las poblaciones de mismas.

La decisión del uso de los cultivos de cobertura para el control de malezas debe tener en cuenta que éstos poseen otras ventajas tales como la captación de nutrientes, su efecto sobre la biología del suelo, la retención de humedad y un efecto positivo sobre la estabilidad estructural en el tiempo y el aumento de la fertilidad actual cuando el CC utilizado es una leguminosa. Pero también se han señalado desventajas tales como la necesidad de un manejo adicional con mayores costos, interferencia con el establecimiento del cultivo, disminución de la temperatura del suelo y una pérdida en la estimación de los requerimientos de fertilización del cultivo (Teasdale, 1996).

A pesar de estos inconvenientes, es necesario considerar que el objetivo de implementación de un CC, es reemplazar una población de malezas de manejo no conocido por un CC de manejo conocido.

Manejo de las rotaciones agrícolas

El empleo de las *rotaciones agrícolas* es una técnica conocida desde hace mucho tiempo y componente esencial dentro del manejo sustentable de malezas. Si asumimos que la presencia de cierto tipo de malezas es una consecuencia de determinados usos del suelo, las variaciones temporales en estas condiciones constituyen una herramienta accesible, de bajo costo y efectiva para sus modificaciones.

En las rotaciones, diferentes atributos de los cultivos (por ejemplo, patrones variables de competencia por recursos, interferencia alelopática, disturbio del suelo y daño mecánico) son combinados para crear un ambiente desfavorable que previene la proliferación de algunas especies de malezas (Liebman & Dick, 1993). Su implementación permite evitar el establecimiento de poblaciones de malezas que se adaptan a un determinado sistema debido a la recurrencia en las prácticas de manejo. La secuencia de cultivos dentro de una rotación condiciona el uso de herbicidas, el tipo de sistema de labranza a emplear, el momento de las labores respecto a la emergencia del cultivo y de las malezas y el momento de la cosecha del cultivo respecto al momento de la madurez de la maleza.

El aumento de la diversidad del sistema agrícola no mejora la capacidad competitiva, pero si disminuye la oportunidad de las distintas especies en convertirse en una población dominante. Estudios llevados a cabo en maíz durante una serie de años determinaron que el factor de mayor influencia sobre la composición específica de las malezas era la secuen-

cia de cultivos (Ball & Miller, 1990). El cultivo de poroto *(Phaseolus vulgaris)* durante tres años alentaba el desarrollo de *Solanum sarrachoides* dentro de una población dominante de latifoliadas, mientras que en el monocultivo de maíz durante tres años existía un menor número de malezas dentro las cuales se destacaba cola de zorro *(Setaria verticilata)*.

La presencia de las rotaciones también permite complementar otras alternativas de manejo de malezas como es el uso de herbicidas. Así, en estudios llevados a cabo durante 8 años de monocultivo de maíz y de una rotación maíz-soja, se observó que, luego de esta serie de años con un control bueno a muy bueno, las pérdidas de rendimiento en ausencia de herbicidas oscilaban entre un 10-27% en maíz en monocultivo comparado con un 0% para maíz y 6-10% para soja en la rotación (Forcella & Lindstrom, 1988). De este modo, es posible plantear una modificación en el uso de herbicidas siempre que exista un sistema de rotación bajo ejecución.

Kegode *et al.*, (1999) estudiaron 10 sistemas de rotaciones que incluían varios sistemas de labranzas (convencional, conservacionista (cincel y disco), en camellones: *ridge tillage* y siembra directa) combinados con distintas secuencias de los cultivos trigo, maíz, soja y alfalfa *(Medicago sativa)* bajo 3 niveles de uso de insumos (fertilizantes y herbicidas): alto, medio y bajo, durante 5 años. Encontraron que las rotaciones que incluyeron los sistemas en camellones y convencionales tuvieron más producción de semillas de malezas que los otros dos, especialmente con bajos niveles de insumos. Comparando las rotaciones que comenzaban y terminaban con maíz, observaron que el aumento de la diversidad de cultivos dentro de la rotación en los 2 sistemas conservacionistas disminuía la producción de semillas de latifoliadas y gramíneas. En condiciones de monocultivo de maíz por 5 años, sólo un alto uso de insumos pudo disminuir el nivel de producción de semillas de las malezas. Concluyen que la rotación de cultivos, combinada con sistemas de labranzas reducidas es una manera efectiva de reducir la producción de semillas de malezas, independientemente del nivel de insumos utilizado.

No obstante, el cambio de una secuencia de cultivos no necesariamente incrementa ó disminuye la interferencia de las malezas ó altera la composición de las especies. Así, Derksen *et al.*, (1993) determinaron que no realizando un barbecho dentro de una rotación, pero incorporando un sistema de labranza reducida, no cambiaba la composición específica de las malezas.

Además de la influencia que las rotaciones tienen en la dinámica poblacional de las malezas, esta práctica cumple una función importante dentro del agroecosistema en lo que respecta a la reducción de la patogenicidad de adversidades, al aumento en la biodiversidad de la biología del suelo, a la disminución de la resistencia a herbicidas a través de la influencia que posee en la dinámica poblacional de las malezas y en la estabilización de los nutrientes.

Alternativas para provocar cambios en la competencia relativa cultivo-malezas:

El aumento de la habilidad competitiva relativa del cultivo respecto a la maleza

puede ser alcanzado por medio del mejoramiento genético (genotipos de mayor habilidad competitiva), de un manejo nutricional más eficiente del cultivo ó un mejor uso de la densidad y por cambios en el arreglo espacial de los planteos de siembra que permitan desplazar el equilibrio competitivo a favor del cultivo.

a). Rediseño de patrones de siembra ó arreglo espacial de cultivos:

La variación de las distancias entre las hileras y el aumento de la densidad del cultivo pueden modificar el índice de área foliar, la arquitectura del canopeo y consecuentemente la habilidad del cultivo para competir con la maleza por radiación fotosintéticamente activa, agua y nutrientes.

El aumento de la densidad de maíz de 7 a 10 pl.m^{-2} y la reducción de la distancia entre hileras de 75 a 50 cm permitió (a través de la modificación de los parámetros foliares mencionados anteriormente) la disminución de malezas que crecían con el cultivo (Murphy *et al.*, 1996). También se observó un incremento del 15% en la producción de maíz asociado a la disminución del espacio entre hileras.

En trigo, Young *et al.*, (1999) analizaron el efecto de los cambos en la geometría del cultivo sobre la maleza *Aegilops cylindrica.* Estudiaron 2 diseños de siembra, a distancias normales (25cm entre surcos) y en surcos apareados (13cm entre líneas del par y 38cm entre pares). Encontraron que el rendimiento del trigo no fue afectado por el diseño empleado y que la competencia ejercida por la maleza fue similar en ambos diseños. Sin embargo, el diseño en surcos apareados mejoró la capacidad supresiva del cultivo sobre la maleza al disminuir el número de espiguillas.m^{-1} entre un 19 y 35%. Estos autores destacan entonces que esta podría ser una práctica a ser integrada con otras en un manejo de malezas a largo plazo.

A pesar de la existencia de estudios con resultados promisorios, es necesario guardar cierta cautela en la generalización. Mientras en especies como el poroto, el rediseño espacial y los cambios en la densidad permiten un aumento del rendimiento y una mayor habilidad competitiva del cultivo, en maíz el incremento de la producción no aparece asociado a una mayor densidad (Tollenar *et al.*, 1994, Murphy *et al.*, 1996). Los autores establecen que para poder proponer tecnologías que lleven al rediseño de los sistemas productivos en forma general, será necesario comprender las variaciones espaciales y temporales que surgen de las interacciones cultivo-maleza, objetivo a cumplir a largo plazo. Mientras tanto, la modificación de planteos de siembra para modificar la habilidad competitiva del cultivo tendrá una aplicabilidad concreta a corto plazo y bajo determinadas circunstancias.

Anderson (1997) estudió diferentes sistemas culturales de manejo de malezas para solucionar el grave problema de la presencia de *Aegilops cylindrica* y *Secale spp.* en el cultivo de trigo en el Oeste de EEUU. Evaluaron diferentes combinaciones de aplicación de fertilizante nitrogenado, densidades de siembra, distancia entre surcos y tipos de cultivares (altos y semienanos). Encontraron que la aplicación de nitrógeno 5 meses antes de la siembra del trigo, combinada con un aumento de la densidad de siembra y el uso de cultivares altos

reducía la producción de semillas de estas malezas en un 40%. Esto destaca la necesidad de diseñar sistemas de manejo apropiados para cada sistema de cultivo y tipo de maleza y la importancia de una mayor comprensión de las interacciones entre los distintos elementos del sistema elegido para lograr compatibilizar los objetivos económicos con los ecológicos.

b). Manejo de la fertilización

El manejo de la *fertilización* puede modificar la habilidad competitiva del cultivo y el grado de interferencia de las malezas. Sin embargo, la variabilidad existente, tanto en la forma de aplicación del fertilizante como entre las distintas especies de malezas, puede desplazar el equilibrio competitivo entre el cultivo y la maleza hacia uno u otro componente. Estudios llevados a cabo en trigo en competencia con *Avena fatua* ó con cola de zorro observaron que ambas malezas mejoraban su habilidad competitiva respecto del cultivo cuando se realizaba una aplicación de nitrógeno sobre toda la superficie de cultivo (Carlson & Hill, 1985). En cambio, cuando la fertilización se realizaba sobre la línea de siembra a una profundidad de 8 cm, la emergencia y la fecundidad de la cola de zorro se veía afectada, más aún en sistemas de siembra directa, pues el desarrollo radical en profundidad del cultivo captaba anticipadamente el fertilizante respecto al sistema radical superficial de la maleza (O´ Donovan *et al.*, 1997).

Kirkland & Beckie (1998) estudiaron la contribución de la forma de aplicación del fertilizante nitrogenado sobre el manejo de malezas en trigo. Encontraron que la aplicación de N en bandas disminuyó la densidad de malezas, su biomasa y absorción de nitrógeno entre un 20 a un 40% y aumentó el rendimiento del trigo hasta un 12% comparado con la aplicación al voleo, aunque esto dependió de la especie de maleza. Así esta puede ser una práctica efectiva para el manejo de malezas, tanto en sistemas de siembra directa como en siembra convencional en regiones semiáridas ó subhúmedas, pero no es confiable cuando es usado como único método de control de malezas.

En cultivos de cebada se observó entre un 28-60% menos de plantas de *Avena fatua* cuando la aplicación nitrogenada se realizó en bandas, debido a un aumento de la capacidad competitiva del cultivo (Thill *et al.*, 1994). También se observó un incremento de la biomasa, densidad y captación de nitrógeno de *Bromus tectorum* y una reducción del crecimiento del cultivo de trigo cuando la aplicación de una mezcla de nutrientes (N, P y S) se realizó en forma general respecto a la aplicación en bandas. No obstante, Cochran *et al.*,(1990) no encontraron diferencias en la biomasa de la maleza y en la captación de nitrógeno efectuado por el cultivo de trigo en sistemas de labranza convencional ó conservacionista.

Estudios llevados a cabo en trigo en competencia con *Avena fatua,* registraron un menor número de plantas de la maleza (27% en etapas tempranas del ciclo del cultivo y 57% en etapas avanzadas del cultivo) cuando el fertilizante se aplicó en bandas a una profundidad de 5 cm respecto a una aplicación general previa a la siembra del cultivo (Reinersten *et al.*, 1984).

El momento de aplicación juega también un papel importante en la dinámica del proceso competitivo (Ampong-Nyarko & de Datta, 1993, Angonin *et al.*, 1996). Para ello, primeramente se deberá determinar el momento en que se establece la competencia y los componentes de rendimiento que este proceso competitivo afecta. De este modo, manejando el momento de aplicación se podrá optimizar la expresión de los componentes de rendimiento del cultivo que pudiesen haber sido afectados por la competencia con la maleza.

A pesar de la existencia de estudios sobre este tema, los resultados no permiten establecer una tendencia clara en el comportamiento del proceso competitivo cultivo-maleza. Así como algunos autores (Grundy *et al.*, 1993, Angonin *et al.*, 1996), consideran que la fertilización puede ser una alternativa para superar el efecto competitivo de las malezas, otros (Hawkins & Black,1958; Wells, 1979; Liebl & Worsham,1987) consideran que a pesar de que no disminuye el efecto competitivo de la maleza, el cultivo logra mantener su rendimiento ante el agregado de nitrógeno.

La influencia del agregado de fertilizante en el proceso competitivo depende también de la comunidad de maleza involucrada. Así, en comunidades naturales multiespecíficas, la competencia entre especies puede ejercer un balance en la población de las malezas, de la cual el cultivo puede obtener ventajas. Esto fue notado por Wells, (1979) quien trabajó con comunidades naturales pero monoespecíficas.

Jørnsgård *et al.*, (1996) por otra parte, basados en sus resultados sobre el efecto del nivel de nitrógeno en el cultivo de trigo y cebada en competencia con *Chenopodium album, Lamiun amplexicaule, Stellaria media* y *Veronica sp.*, deducen que una disminución en el agregado de nitrógeno en una agricultura de bajos insumos puede favorecer un aumento de dichas especies como así también un cambio en la proporción de la población. De este modo, antes de integrar la aplicación de fertilizantes como una estrategia de amplio espectro contra distintas especies de malezas, será necesario realizar estudios más detallados que involucren distintas condiciones ambientales, cultivos y comunidades de malezas, como así también la densidad del cultivo y la disponibilidad hídrica existente al momento de la competencia.

4.2.2. Nuevas alternativas de control

Dentro de las nuevas estrategias de "control " posibles de ser implementadas en un MIM se encuentra el uso de la *policultivos ó cultivos acompañantes, el empleo de la alelopatía, el control biológico, el uso de cultivares competitivos y el uso del fuego.*

Intercropping ó cultivos acompañantes

Una alternativa interesante para el manejo de malezas en una agricultura sustentable es la que tiene que ver con el manejo de la disponibilidad de los recursos. Uno de los principales efectos de las malezas es la competencia por recursos con el cultivo. Generalmente se tiende a creer que la sola presencia de vegetación adventicia ó espontánea en el cultivo (plantas no sembradas) constituye de por sí una competencia con el mismo. Sin embargo

las interacciones entre plantas pueden ir mas allá que la simple competencia.

Las plantas tienen características tales que les posibilitan aprovechar espacial y temporalmente diferentes recursos. Cuando esto tiene lugar, 2 plantas que crecen juntas no necesariamente compiten por todos los recursos. Cuando esta situación se presenta, la sola presencia de vegetación con diferentes requerimientos que la planta principal ó el cultivo podría hacer uso de recursos que el cultivo, de todas formas, no utilizaría. Esto es lo que distintos trabajos plantean para el desarrollo de sistemas de policultivos (ver capítulo 10)

Una de las consecuencias de este sistema de cultivo es que, si la asociación de cultivos elegida hace un mejor uso de los recursos que la siembra de los cultivos puros, quedarán menos recursos disponibles para las plantas indeseables (malezas). En este sentido puede sembrarse un acompañante con el cultivo principal ó dos cultivares de la misma especie con este fin.

Una de las aplicaciones de esta idea es el uso de plantas ó cultivos supresivos acompañantes *(smother plants)* junto con el cultivo principal. Las plantas supresivas son plantas especializadas usadas como cobertura para suprimir el desarrollo de las malezas sin reducir ostensiblemente el rendimiento del cultivo principal (De Haan *et al.*, 1994). Los cultivos supresivos acompañantes tienen el potencial de suprimir el crecimiento de las malezas, aumentar la infiltración del agua, disminuir la erosión del suelo, contribuir con nitrógeno al cultivo principal y reducir los riesgos económicos.

De Haan *et al.*, (1997) estudiaron el uso de algunas variedades de alfalfa como cultivo supresivo acompañantes de primavera en el cultivo de maíz para evaluar su capacidad en el control de malezas y reducir el impacto ambiental. Para ello se intersembraron con maíz a densidades de 0, 85, 260 y 775 semillas.m^{-2}. Se encontró que la alfalfa redujo la biomasa de malezas a las 14 semanas de la emergencia del maíz, entre un 69 a un 41%, comparado con el testigo, dependiendo de la localidad. Y que el efecto supresivo fue mayor cuando no se aplicó fertilizante nitrogenado. Sin embargo, en esta densidad de alfalfa el cultivo de maíz también disminuyó un poco su rendimiento indicando una competencia con la alfalfa por recursos. Los autores concluyen que, aunque la siembra de alfalfa con el maíz es efectiva para reducir la biomasa de malezas, deberían buscarse otros cultivares que puedan ejercer este efecto con una menor disminución del rendimiento del maíz y que sea consistente en varias localidades.

Aunque todavía se requiere mucha investigación al respecto, el uso de cultivos acompañantes ofrece una interesante alternativa para ser usada en sistemas integrados de manejo sustentable de malezas. Está claro que el uso ó desarrollo de esta alternativa no sería compatible con cultivos genéticamente modificados para resistencia a herbicidas totales, como los maíces y sojas RR. La aceptación masiva de cultivos RR, impediría el desarrollo de esta interesante alternativa de bajo costo y bajo uso de insumos, que permitiría incluso ser usada por productores orgánicos.

La elección de los materiales adecuados y las densidades apropiadas requiere una

mejor comprensión de las relaciones entre plantas y de la forma de valorar ó evaluar sus resultados. Esto es desarrollado en otro capítulo de este libro.

Uso de la alelopatía

La *alelopatía* es la liberación de compuestos químicos desde una especie vegetal, que tiene efectos negativos sobre especies vecinas. A pesar de conocerse desde la antigüedad, es en este último siglo donde su estudio adquiere importancia científica. El término fue introducido por Molisch (1937) el cual consideraba las interacciones benéficas y perjudiciales entre todo tipo de especies vegetales y aún microorganismos. En las últimas décadas el estudio de la alelopatía ha sido muy bien documentado (Rice, 1984), incluyendo entre otros aspectos, estudios de síntomas y severidad de los efectos adversos de las plantas vivas ó de sus residuos sobre el crecimiento de las plantas superiores ó cultivos, interacciones entre organismos, significado ecológico de la alelopatía en las comunidades vegetales, autotoxicidad, problemas en las rotaciones agrícolas y la producción y la identificación y aislamiento de los aleloquímicos tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas. Recientemente, Anaya (1999) ha compilado información sobre el rol y la dinámica de la alelopatía en los agroecosistemas como así también su implementación como posible estrategia para el manejo de malezas y los pasos a seguir en las líneas de investigación.

Los productos que poseen una acción alelopática son llamados aleloquímicos y se encuentran en las hojas, flores, frutos, tallos, raíces, rizomas, semillas y polen. Pueden ser liberados al ambiente a través de la volatilización, percolación, exudados por las raíces y por la descomposición de residuos vegetales.

Las respuestas características son estimulación ó atracción a bajas concentraciones de aleloquímicos y la inhibición ó repelencia a medida que la concentración se incrementa (Wu *et al.*, 1999). Este fenómeno ha sido observado en aleloquímicos provenientes de plantas vivas o de residuos vegetales en descomposición. Cuando una planta es expuesta a los aleloquímicos su crecimiento ó desarrollo se ve afectado. Los efectos observables son la inhibición ó retardo de la germinación, efectos sobre la raíz y una disminución de la capacidad reproductiva de la planta (An *et al.*, 1998).

La aplicación de la alelopatía es una alternativa que puede ser incorporada dentro de un MSM, presentando una gran perspectiva pues permite reducir la fuerte dependencia existente sobre el control químico y reducir el impacto sobre el ambiente. Sobre todo resulta un método interesante para explorar en cultivos extensivos como los de cereales y leguminosas.

El uso de la alelopatía, puede aplicarse en, mejorar la *capacidad alelopática de los cultivares,* uso de aleloquímicos como *herbicidas naturales,* uso de *plantas alelopáticas* con el cultivo, rotaciones con *cultivos con efectos alelopáticos* y uso de *residuos vegetales* de especies alelopáticas.

a). Uso de cultivares con actividad alelopática

El empleo de *cultivares con actividad alelopática* es un objetivo que no ha sido tenido en cuenta en los planes de mejoramiento genético (Wu *et al.*, 1999). La alelopatía natural

de los antecesores silvestres de los cultivos se encontraría disminuida en los cultivares actuales (Putnam & Tang, 1986). Los autores postulan la posibilidad de transferir (por métodos tradicionales ó moleculares) características alelopáticas desde las especies y géneros afines como también de otras especies no relacionadas, pudiendo mejorar el potencial supresivo de malezas. Estudios llevados a cabo entre 526 genotipos de pepino *(Cucumber sativus)* provenientes de 41 países mostraron un gran efecto supresivo sobre el crecimiento de *Brassica hirta* y de *Panicum miliaceum* (Putnam & Duke, 1974). También se han encontrado genotipos de arroz *(Oryza sativa)* que poseen efectos inhibitorios sobre *Hetherantera limosa, Ammannia coccinea Brachiaria platyphylla y Echinochloa cruz-galli,* entre otras especies con niveles de control que varían entre un 70-95% según la especie involucrada. Se ha encontrado también una acción alelopática diferencial entre genotipos de trigo hacia *Lolium rigidum, Bromus japonicus* y *Chenopodium album* (Wu *et al.*, 1998, 1999). Por otra parte, genotipos silvestres de *Triticum speltoides* han demostrado efectos inhibitorios sobre *Sisymbrium orientale* y *Avena fatua* (Hashem & Adkins, 1996).

El uso de *plantas alelopáticas* acompañantes del cultivo es una alternativa basada en la idea de que es posible utilizar plantas que posean selectivamente alelopatía hacia ciertas especies de malezas y que no interfieran apreciablemente con el cultivo (Putnam & Duke, 1978). Así, distintos autores han encontrado efectos alelopáticos hacia distintas especies de malezas en cebada, vicia*, Panicum spp.,* avena *(Avena sativa),* trigo, maíz, trigo sarraceno *(Fagopyrum sculentum),* centeno, pepino, remolacha *(Beta vulgaris),* lupino *(Lupinus albus),* entre otros.

Para generalizar el uso de esta alternativa y entender su papel en el manejo de malezas para una agricultura sustentable sería importante saber si existen efectos de interacción genotipo-ambiente y a su vez plantear el problema del empleo de esta estrategia en cultivos que en muchos países se cultivan consociados (ver capítulo 10), como maíz, poroto y otros.

b). Empleo de bioherbicidas naturales

El empleo de sustancias fitotóxicas como posibles herbicidas naturales fue descrito por Putnam (1988) quién diferenció seis clases de aleloquímicos (alcaloides, benzooxazinonas, derivados del ácido cinámico, componentes cianogénicos, etileno y otros estimulantes de la germinación y flavoniodes) en 30 familias vegetales. El producto obtenido puede tener una mayor actividad, una mayor selectividad ó ser más persistente luego de un proceso de identificación y purificación. Por medio de estos procesos se pueden desarrollar productos que pueden actuar sobre sitios de acción nuevos, pudiendo conducir a la obtención de una nueva clase de herbicidas. No obstante, este proceso de obtención puede verse dificultado por la complejidad química de estos compuestos y por las pequeñas cantidades disponibles en sus fuentes naturales. An *et al.*, (1998) trabajando con *Vulpia sp.* señalan que es posible aislar un número determinado de compuestos y luego de realizar los bioensayos, establecer una combinación de los principios debido a los efectos sinérgicos detectados y a la senci-

llez de la síntesis dada la estructura sencilla observada en cada uno de ellos.

Esta estrategia, a pesar de ser un avance respecto al uso de herbicidas de origen sintético, se encuadra dentro del enfoque clásico de control de malezas, pero atenuando el problema del impacto ambiental. Deberá prestarse atención sobre la posibilidad de crear resistencia en las malezas.

c). Uso de rotaciones y de residuos alelopáticos

El uso de rotaciones que incorporen *cultivos con efectos alelopáticos* y el uso de *residuos vegetales* de especies alelopáticas puede ser un medio cultural efectivo para el manejo de la maleza con una mínima aplicación de herbicida. De acuerdo a Overland (1966) cultivos tales como el centeno, trigo, trigo sarraceno, mostaza negra *(Brassica nigra)* ó sorgo granífero *(Sorghum bicolor)* interfieren en la dinámica poblacional de las malezas a través de una combinación entre la competencia que ejercen y los aleloquímicos producidos por el cultivo en pie ó por la descomposición de sus residuos.

Una de las maneras más usuales de emplear la alelopatía ha sido a través de la cobertura de residuos de cultivos con alelopatía. Así, se han documentado en la última década estudios sobre cultivos tan diversos como cereales de invierno y de verano, oleaginosos, frutales y hortícolas. El cultivo antecesor puede dejarse secar ó ser secado por medio de un herbicida en tanto el cultivo sucesor puede ser sembrado ó transplantado mediante un sistema sin remoción del suelo. Asimismo los cultivos verdes fitotóxicos y los cultivos de cobertura constituyen una estrategia disponible para el control de malezas que puede ser usado en conjunto con sistemas de labranzas conservacionistas (Wolf *et al*., 1984). En este sentido, Krishnan *et al*., (1998) estudiaron, en invernáculo y a campo, el empleo de nabo *(Brassica napus)* y mostaza, de conocidas propiedades alelopáticas, sobre el control de 5 especies de malezas. El uso de mostaza como abono verde redujo la biomasa total de malezas en soja en un 40% a las 4 semanas de la emergencia y un 49% a las 6 semanas. Aclaran sin embargo que esta técnica no es suficiente por si sola para evitar la pérdida de rendimiento de la soja. Consideran que, aplicando fertilizante al abono verde para incrementar su biomasa ó usando cultivares de nabo y/o mostaza con mayor contenido de glucosinolatos puede ayudar a que esta práctica ocupe un lugar importante en un MIM.

En el caso de cultivos perennes, el cultivo de cobertura puede ser sembrado al voleo (dispersión generalizada de semilla) en las distintas estaciones del año y luego ser controlado por medio de un herbicida selectivo para crear un residuo en superficie alrededor del cultivo perenne ya establecido. La cobertura de residuos puede selectivamente ejercer un control de malezas ya sea a través de su acción física ó por la liberación de aleloquímicos que se encuentran presente en el material dejado en superficie.

La liberación de los productos puede realizarse por acción de la lluvia ó por acción microbiana, aunque el control ejercido sobre las malezas pueden deberse también a una modificación en el microambiente de la planta, tal como el pH (Weston, 1996).

Los cultivos alelopáticos ofrecen un potencial para el desarrollo de nuevos herbici-

das como así también como fuente de germoplasma que puede ser manipulada para mejorar el manejo de malezas en una forma que cause el menor impacto ambiental posible. Hasta el presente los esfuerzos de investigación para la obtención de sistemas sustentables de producción estuvieron dirigidos a la implementación de residuos con actividad alelopática para obtener un manejo racional de malezas. A medida que se incrementa el conocimiento respecto de los mecanismos fisiológicos de acción de los aleloquímicos, de la selectividad del modo de acción y de la regulación génica de la biosíntesis, es posible intentar manipular las fuentes de germoplasma existente para seleccionar por metabolitos secundarios, por una mayor producción de estos productos ó la regulación de la tasa de liberación de los aleloquímicos a fin de obtener un efecto de mayor duración y lograr un mejor control de las malezas.

Control biológico

El *control biológico* puede definirse como la acción de parásitos, depredadores ó patógenos que permiten mantener el nivel poblacional de la especie problema por debajo de los niveles en que se encontraría en ausencia de la adversidad (DeBach, 1964). Funciona cuando la maleza, el agente controlador y el ambiente interactúan de manera que se pueda obtener el control ó la supresión de la maleza. El sistema de manejo debe llevar a una interacción de los tres componentes, ya sea alterando la ecología del agente, aumentando su supervivencia, incrementando la susceptibilidad de la maleza ó alterando el ambiente para aumentar el potencial del biocontrol (ver capítulo 18).

Existen tres estrategias para el control biológico: el método clásico, el inundativo y el manejo integrado y ciertas características que debe reunir un agente de control biológico para ser efectivo. Entre ellas controlar ó afectar la maleza en un momento crítico de su ciclo como así también en el momento en donde se establece la competencia con el cultivo. Finalmente el control biológico debe ser desde el punto de vista del manejo y desde el punto de vista económico compatible con el resto de las prácticas del MIM.

Debido al enfoque prevaleciente hasta ahora el objetivo del desarrollo del control biológico estuvo dirigido primordialmente al desarrollo de productos análogos a los herbicidas sintéticos, capaces de lograr un rápido efecto sobre las poblaciones de malezas. Es decir la idea subyacente a esta tecnología siempre fue controlar las malezas, pero con menor impacto ambiental. Hasta la fecha sólo 4 agentes han sido formulados para su utilización masiva ó comercial (Kennedy & Kremer, 1996).

Hasta hace poco, las epifitias desarrolladas sobre las malezas eran un objetivo secundario en el interés de los fitopatólogos, quienes dirigían su atención fundamentalmente hacia la patología de los cultivos de interés (Müller Schärer & Frantzen, 1996). No obstante los principios de la patología de los cultivos son también útiles en la aplicación del control biológico de las malezas. Desde este nuevo punto de vista, las malezas pueden ser vistas como poblaciones vegetales con características de poblaciones silvestres creciendo en un ambiente agrícola (Müller Schärer & Frantzen, 1996). Se propone el concepto de *manejo del sistema*

dentro del control biológico, que provee conocimiento de la interrelación maleza-patógeno al nivel individual y poblacional de ambos componentes, combinando conocimiento de la epidemiología y fitopatología en general con aquel proveniente de la ecología, biología poblacional y fisiología de malezas. Este conocimiento será necesario para poder establecer agroecosistemas sustentables donde el uso del patógeno no esté dirigido a actuar solamente como un agente terapéutico sino como un agente preventivo que interfiera en la dinámica poblacional de la maleza, objetivo primario de la agroecología.

Uso de la habilidad competitiva de los cultivares

Dentro de las alternativas de "control" a largo plazo puede situarse el empleo de *cultivares con habilidad competitiva.* (ver capítulo Uso de la habilidad competitiva, de este libro) Esta estrategia se basa en el concepto que la competencia ejercida por un cultivo puede reducir el crecimiento de la maleza, incrementando la mortalidad de la misma, disminuyendo las pérdidas en rendimiento del cultivo y la producción de semilla de la maleza (Cousens & Mokhtari, 1998).

La habilidad competitiva de un cultivar está dada por su capacidad para tolerar la competencia con las malezas (tolerancia) manteniendo su nivel productivo y su capacidad para suprimir el crecimiento de las mismas (supresión) (Golberg, 1990), aspectos que no siempre están relacionados.

Diferencias genotípicas en competitividad han sido establecidas en diferentes cultivos tales como sorgo, arroz, cebada, avena, maíz y trigo frente a distintas especies de malezas.

Por otra parte, los métodos de conducción y las condiciones ambientales bajo las que se efectúa la selección de los nuevos cultivares no han tenido en cuenta aspectos tendientes a evaluar correctamente la habilidad de un cultivar para rendir bien bajo un escenario con mayor población de malezas (Cousens & Mokhtari, 1998).

El desarrollo de esta alternativa debe contemplar la posibilidad de conjugar una mejor habilidad competitiva del cultivo con rendimientos aceptables. Para ello se requiere un acabado conocimiento del proceso competitivo cultivo-maleza, estableciendo de qué manera las características morfofisiológicas de ambos componentes se relacionan y contribuyen al establecimiento de dicho proceso (Satorre & Snaydon, 1992).

Un aspecto a considerar dentro de los estudios de habilidad competitiva es la evaluación del efecto de la fertilización del cultivo sobre el proceso competitivo con las malezas. El incremento del nivel de nitrógeno puede aumentar la habilidad de los cereales para suprimir las malezas (Grundy *et al.*, 1993). No obstante, esta respuesta depende de la especie de maleza considerada: mientras algunas especies pueden verse perjudicadas, otras pueden resultar favorecidas (Carlson & Hill, 1985, Iqbal & Wright, 1996).

Asimismo la generalización de esta alternativa requiere el desarrollo de mayores estudios para analizar si existe una interacción genotipo ambiente en la capacidad competitiva de los cultivares y encontrar el rol que esta alternativa cumple en un esquema de manejo sustentable de malezas.

Uso del fuego para el control de malezas

El control de malezas mediante el uso del fuego ha sido propuesto como una alternativa interesante, sobre todo para los sistemas de producción orgánicos donde el empleo de herbicidas sintéticos está prohibido por las normas de producción. El uso del fuego aparece entonces como una tecnología adecuada para estos productores.

El fundamento de este método es aplicar calor directo sin disturbar el suelo ó el sistema radical del cultivo. Se busca hervir el agua del interior de las células de las malezas, sobre todo del tallo, de manera de hacerlas estallar, interrumpiendo el flujo de agua y nutrientes desde las raíces a las hojas (Rifai *et al.*, 1996). Para ello la temperatura dentro de la célula debe alcanzar los 100°C durante 10 décimas de segundo.

Esto requiere elegir adecuadamente el estado fenológico de las malezas. Mientras más jóvenes sean las plantas, mejor el efecto, ya que, a medida que las plantas crecen desarrollan un mayor grosor de cutícula que las protege del fuego.

La aplicación de esta metodología puede ser hecha de varias maneras. Aplicación selectiva de fuego: ataca la maleza pero no el cultivo y se basa en la diferencia de crecimiento y resistencia entre el cultivo y la maleza. Si el cultivo está suficientemente desarrollado la llama puede no dañarlo, pero sí a la maleza. Ello se controla a través de la velocidad de pasada de la llama y el ángulo de ataque. Si no hay diferencias evidentes, se dirige la llama sólo hacia las malezas. Controla entre y dentro de los surcos.

El uso de la llama no selectiva afecta a ambos y se usa en cultivos con yema terminal protegida, como el maíz, y la cebolla *(Allium cepa).* Mata la parte aérea de ambos, pero el cultivo se recupera. El otro método es la aplicación de la llama en preemergencia que no es crítica al cultivo.

El control de malezas preemergentes es mejor que el control manual porque las llamas controlan aquellas malezas de pequeño tamaño que el control manual no tiene en cuenta. La implementación ó generalización de esta técnica tropieza con algunas dificultades: poco conocimiento sobre la técnica y umbrales de resistencia al fuego de las diferentes malezas y cultivos, falta de equipos adecuados, poco conocimiento sobre técnicas de aplicación adecuadas: altura del equipo, velocidad, combustibles, ángulo de ataque, momento de aplicación más conveniente, condiciones necesarias. A su vez, existe la posibilidad de provocar un daño al cultivo si no se aplica en el momento apropiado y de ejercer, con la repetición de este método, una presión de selección hacia especies resistentes al fuego a largo plazo.

Sin embargo, es una técnica interesante, barata y sencilla de implementar que puede disminuir las necesidades de carpidas en sistemas de producción intensiva como el hortícola.

Rifai *et al.*, (1996) evaluaron la posibilidad del uso del fuego como alternativa para el control de malezas en cultivos hortícolas orgánicos para analizar si el requerimiento en labores en el cultivo de cebolla y zanahoria *(Daucus carota)* podía reducirse complementándolo con el control de malezas mediante el uso de fuego. El uso del fuego en preemergencia fue el más efectivo y redujo el número de malezas hasta un 93% en cebolla. Las malezas más resistentes al fuego fueron: *Stellaria media, Digitaria ischaemum,*

Chenopodium album y Amaranthus retroflexus. Concluyeron que el uso del fuego para el control de malezas fue económico y ahorró mucha mano de obra (hasta un 66% menos).

5. Acciones futuras hacia un manejo sustentable de malezas (MSM)

El manejo de malezas para una agricultura sustentable implica, necesariamente, cambiar el enfoque de la investigación en malezas, pasando del desarrollo de tecnologías de control ó erradicación insumo dependientes, hacia una comprensión de la dinámica poblacional de las distintas especies y su interrelación con el agroecosistema.

Buhler (1996) establece que los sistemas agrícolas se conforman de componentes productivos, biológicos, ambientales, económicos y sociales que interactúan y deben ser estudiados dentro del conjunto del sistema y no en forma desagregada. De este modo la comprensión del agroecosistema como un todo y del cual el MSM forma parte, será posible a través de estudios que reúnan conocimientos provenientes de la teoría ecológica, de la agronomía tradicional, de la economía y de la sociología (Buhler, 1996), permitiendo una mejora en el manejo de malezas a largo plazo y contribuir a la sustentabilidad del agroecosistema, objetivo primario de la agroecología.

Es necesario poner énfasis en el desarrollo de sistemas productivos que tengan una menor dependencia de insumos externos, siendo necesario que aquellos involucrados en el estudio de las malezas y de los sistemas productivos en general amplíen su perspectiva del rol que cumple la maleza, visualizándola como parte integrante del agroecosistema, pudiendo de esta manera establecer cuestiones éticas y biológicas a largo plazo que vayan más allá de simples prácticas de producción y alternativas tecnológicas.

Este nuevo enfoque requiere una gran inversión en conocimiento para el diseño de nuevas estrategias, pues no existen modelos de aplicación unívocos. La integración entre aquellas personas vinculadas a la investigación y a la extensión con el productor agrícola, permitirá validar estrategias de manejo de malezas a largo plazo, basadas en sus limitantes técnicas, socioeconómicas y culturales, permitiendo, de este modo, un tránsito progresivo hacia sistemas productivos menos dependientes de herbicidas.

El objetivo de este capítulo ha sido brindar algunos elementos para ello.

Altieri MA (1997) Ecología y manejo de malezas. En MA Altieri (Ed) Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable. CLADES. Lima. Perú. CIED. Secretariado Rural., Perú-Bolivia. Pp. 391-420

Ampong-Nyarko K & SK de Datta (1993) Effects of nitrogen on growth, nitrogen use efficiency and rice-weed interaction. Weed Res. 33: 269-276.

An M, J Pratley & T Haig (1998) Allelopathy: from concept to reality. En: Procceding of the 9th Australian Agronomy Conference. Wagga-Wagga. Australia. pp: 563-566.

Anaya AL (1999) Allelopathy as a tool in the management of biotic resources in agroecosystems. Critical Reviews in Plant Sciences 18(6). pp: 697-739

Anderson RL (1997) Cultural systems can reduce reproductive potential for winter annual grasses. Weed Technol. 11:608-613.

Angonin C, JP Caussanel & JM Meynard (1996) Competition between winter wheat and *Veronica hederifolia:* influence of weed density and the amount and timing of nitrogen application. Weed Res. 36: 175-187.

Ballaré CL, AL Scopel, CM Ghersa & RA Sánchez (1987) The population ecology of *Datura ferox* in soybean crops: a simulation approach incorporating seed dispersal. Agric. Ecosyst. Environm. 19: 177-188.

Ball DA & SD Miller (1990) Weed seed population response to tillage and herbicide use in three irrigated cropping sequences. Weed Sci. 38: 511-517.

Bhowmik P (1997) Weed biology: importance to weed management. Weed Sci. 45: 349-356.

Brust GE (1994) Seed predators reduce broadleaf weed growth and competitive ability. Agric. Ecosyst. Environm. 48: 27-34

Buhler DD (1995) Influence of tillage systems on weed populations dynamics and management in corn and soybean in the central USA. Crop Sci. 35: 1247-1258.

Buhler DD (1996) Development of alternative weed management strategies. J. Prod. Agric. 9(4) : 501-505.

Buhler DD & RT Proost (1992) Influence of applications time on bioactivity of imazethapyr in no-tillage soybean *(Glycine max).* Weed Sci. 40: 122-126

Buhler DD, DE Stoltenberg, RL Becker & JL Gunsolus (1994) Perennial weed populations after 14 years of variable tillage and cropping practices. Weed Sci. 42: 205-209.

Cardina, J. E. Regnier & K. Harrison (1991) Long-term tillage effects on seed banks in three Ohio soils. Weed Sci. 39: 186-194.

Carlson HL & JE Hill (1985) Wild oat (*Avena fatua* L.) competition with spring wheat: plant density effects. Weed Sci. 33: 176-181.

Clements DR, DL Benoit, SD Murphy & CJ Swanton (1996) Tillage effects on weed seed return and seedbank composition. 1996. Weed Sci. 44: 314-322.

Cochran VL, LA Morrow & RD Schirman (1990) The effect of N placement on grass weeds and winter wheat responses in three tillage systems. Soil Tillage Res. 18 : 347-355.

Cousens RD (1987) Theory and reality of weed control thresholds. Olant orot. Quartely. 2: 13-20.

Cousens RD & S Mokhtari (1998) Seasonal and site variability in the tolerance of wheat cultivars to interference from *Lolium rigidum*. Weed Res. 38: 301-307.

Dao TH (1987) Crop residues and management of annual grass weeds in continuous no-till wheat *(Triticum aestivum).* Weed Sci. 35: 395-400.

DeBach P (1964) Biological control of insects, pest and weeds. Van Nodstran. Princeton. NJ..

De Haan RL, CC Sheaffer & DK Barnes (1997) Effect of annual medic smother plants on weed control and yield in corn. Agron. J. 89: 813-821.

De Haan RL, DL Wyse, NJ Ehlke, BD Maxwell & DH Putnam (1994) Legume cover crop contribution to no-tillage corn production. Agron. J. 86: 126-135.

Derksen DA, GP Lafond A Gordon Thomas, HA Loeppky & CJ Swantton (1993) Impact of agronomic practices on weed communities: tillage system. Weed Sci 41: 409-417.

Dessaint F, R Chadoeuf & G Barralis (1997) Nine years'soil seedbank and weed vegetation relationships in an arable field without weed control. J. of Applied Ecology. 34: 123-130.

Doersch RE & DD Buhler (1988) Weed management in conservation tillage corn production. Univ. Wisconsin Coop. Extens. Service Bulletin A3425.

Doll J, R Doersch, R Proost & P Kivlin (1992) Reduced herbicide rates: aspects to consider. Publication A3563. Cooperative Extension Publications. Wisconsin.

Flach KW (1990) Low-input agriculture and soil conservation. J. Soil Water Cons. 45: 42-44.

Forcella F & MJ Lindstrom (1988) Weed seed populations

in ridge and conventional tillage.Weed Sci.36:500-503.

Ghersa CM,EH Satorre ML van Esso,A Pataro & R Elizagaray (1990) The use thermal calendar models to improve to improve the herbicide applications in *Sorghum halepense* (L) Pers .Weed Res.36:153-160

Goldberg DE (1990) Components of resource competition in plant communities. En: Perspectives in Plant Competition (eds JB Grace y D Tilman), pp 27-49. San Diego Academic Press.

Grundy AC, RJ Froud Williams & ND Boatman (1993) The use of cultivar,crop seed rate and nitrogen level for the suppresion of weeds in winter wheat. Proceedings Brighton Crop Protection Conference. Weeds. 997-1002. British Crop Protection Council. Farnham.

Gunsolus JL (1990) Mechanical and cultural weed control in corn and soybeans. Am. J. Alter. Agric. 5: 114-119.

Harper JL, JT Williams & GR Sager (1965) The behavior of seeds in soil. I: The heterogeneity of soil surfaces and its role in determining the establishment of plants from seed. J. Ecol. 53: 273-286.

Hartzler RG (1993) Reducing herbicide use in field crops. Iowa State University Extension Bulletin. IPM-36.

Hashem A & SW Adkins (1996) Introduction of allelopathy to wheat: effect of *Triticum speltoides* on two weeds of wheat . En: Procceding of the 11th Australian Weeds Conference. Melbourne. Australia. pp: 45-48.

Hawkins HS & JN Black (1958) Competition between wheat and three-cornered jack *(Emex australis).* J. Aust. Inst. Agric. Sci. 24: 25-34

Iqbal J & D Wright (1997) Effects of nitrogen supply on competition between wheat and three annual weed species. Weed Res. 37: 391-400

Johnson MD, DL Wyse & WE Luesehep (1989) The influence of herbicide formulation on weed on weed control under tillage systems. Weed Sci. 37: 239-249.

Jørnsgård B, K Rasmussen, J Hill & JL Christiansen (1996) Influence of nitrogen on competition between cereals and their natural weed populations. Weed Res. 36: 461-470

Kegode GO, F Forcella & S Clay (1999) Influence of crop rotation, tillage and management inputs on weed seed production. Weed Sci, 47: 175-183.

Kennedy AC & RJ Kremer (1996) Microorganisms in weed control strategies. J. Prod. Agric. 9(4): 480-484.

Kirkland KJ & HJ Beckie (1998) Contribution of nitrogen placement to weed management in spring wheat *(Triticum aestivum)* Weed Technol. 12: 507-514.

Krishnan G, DL Holshouser & SJ Nissen (1998) Weed control in soybean *(Glycine max)* with green manure crops. Weed Technol 12: 97-102.

Lal R (1989) Conservation tillage for sustainable agriculture tropics versus temperate environments. Advan. Agron. 42: 85-197.

Liebl R & A Douglas Worsham (1987) Interference of Italian Ryegrass *(Lolium multiflorum)* in wheat *(Triticum aestivum).* Weed Sci. 35: 819-823.

Liebman M & E Dyck (1993) Crop rotations and intercropping strategies for weed management. Ecol. Appl. 3: 92-122.

Lyon DJ, Miller SD & Wicks GA (1996) The future of herbicide in weed control systems of the great plains. J Prod. Agric. 9(2): 209-215.

Marasas ME, SJ Sarandón y AC Cichino (1997). Efecto de la labranza convencional y siembra directa sobre la coleopterofauna edáfica en un cultivo de trigo en la Pcia. de Bs. As. Revista Ciencia del Suelo 15 (2): 59-63.

Mester TC & DD Buhler (1991) Effects of soil temperature seed depth and cyanazine on giant foxtail *(Setaria faberi)* and velvetleaf *(Abutilon theophrasti)* seedling development. Weed Sci. 39: 204-209.

Molisch H (1937) Der Einfluss einer Pflanze auf die andere-Allelopathie. Verlag. Gustav Fischer. Jena. 106 pp.

Moore MJ, TJ Gillespie & CJ Swanton (1994) Effect of cover crop mulches on weed emergence, weed biomass and soybean *(Glycine max)* development. Weed Technol. 8: 512-518.

Moyer JR, ES Roman, CW Lindwall & RE Blackshaw (1994) Weed management in conservation tillage systems for wheat production in north and south America. Crop Protection (4): 243-259.

Müller Schärer H & J Frantzen (1996) An emerging system management approach for biological weed control in crops: *Senecio vulgaris* as a research model. Weed Res. 36: 483-491.

Murphy SD, Y Yakubu, SF Weise & CJ Swanton (1996) Effects of planting pattern and inter-row cultivation on competition between corn *(Zea mays)* and late emerging weeds. Weed Sci. 44: 856-870.

Navas ML (1991) Using plant populations biology in weed research: a strategy to improve weed management. Weed Res. 31: 171-179.

Neeser CR, RA Agüero & CJ Swanton (1998) A mechanistic model of purple nutsedge *(Cyperus rotundus)* populations dynamics. Weed Sci. 46: 673-681.

O´Donovan JT (1996) Weed economic thresholds: useful agronomic tool or pipe dream? Phytoprotection 77: 13-28.

O´Donovan JT, DW Mc Andrew & G Thomas (1997) Tillage and nitrogen influence weed population dynamics in Barley *(Hordeum vulgare)*. Weed Technol. 11: 502-509.

Overland L (1966) The role of allelophatic substances in the "smother crop" barley. Am. J. Bot. 53: 423-432.

Pareja MR, DW Staniforth & GP Pareja (1985) Distribution of weed seed among soil structural units. Weed Sci. 33: 182-189.

Puricelli EC & DH Tuesca (1997) Análisis de los cambios en las comunidades malezas en sistemas de siembra directa y sus factores determinantes. Rev de la Fac. Agronomía de La Plata 102 (1): 97-118.

Putnam AR (1988) Allelochemicals from plants as herbicides. Weed Technol. 2: 510-519.

Putnam AR & WD Duke (1974) Biological supression of weeds: evidence for allelopathy in accessions of cucumber. Science 185: 370-372.

Putnam AR & WO Duke (1978) Allelopathy in agroecosystems. Ann. Rev. Phytopathol. 16: 431-451.

Putnam AR & C Tang (1986) Allelopathy: state of the science. En Putnam AR & C Tang eds. The science of allelopathy. John Wiley and Sons. NY. pp: 1-19.

Reinersten MR, VL Cochran & LA Morrow (1984) Response of spring wheat to N fertilizer placement row spacing and wild oat herbicides in a no-till system. Agron. J. 76: 753-756.

Rice EL (1984) Allelopathy. 2nd Ed. Academic Press. NY. 353 pp.

Rifai MN, M Lack-Bartosová & V Puskárová (1996) Weed control for organic vegetable farming. Rostlinaá Vyroba 42(10): 463-466.

Roberts, HA (1981) Changes in the soil seedbank of long term crop/herbicide experiments. J. Appl. Ecol. 18: 661-668.

Rosales Robles E, JM Chandler, SA Senseman & EP Prostko (1999) Integrated Johnsongrass *(Sorghum halepense)* management in field corn *(Zea mays)* with reduces rates of nicosulfuron and cultivation. Weed Technol. 13: 367-373.

Sagar GR & AM Mortimer (1976) An approach to the study of population dynamics of plants with special reference to weeds. Ann Appl. Biol. 1: 1-47.

Satorre EH & RW Snaydon (1992) A comparison of root and shoot competition between spring cereals and *Avena fatua* L. Weed Res. 32: 45-551992

Scursoni J, R Benech Arnold & H Hirchoren (1999) Demography of wild oat in Barley crops: effect of crop, sowing rate, and herbicide treatment. Agron. J. 91: 478-485.

Swanton CJ & SF Weise (1991) Integrated weed management in Ontario: the rationale and approach. Weed Technol. 5: 657-663.

Swinton SM & RP King (1994) A bioeconomic model for weed management in corn and soybean. Agric. Sys. 44: 313-335.

Teasdale JR (1996) Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. J. Prod. Agric. 9(4): 475-479.

Thill DC, JT O´Donovan & CA Mallory-Smith (1994) Integrated weed management strategies for delaying herbicides resistance in wild oats. Phytoprotection 75 (suppl.): 61-70.

Thomas AG & BL Frick (1993) Influence of tillage systems on weed abundance in southwestern Ontario. Weed Technol. 7: 699-705.

Tollenar M, AA Dibo, A Aguilera, SF Weise & CJ Swanton (1994) Effect of crop density on weed interference in maize. Agron. J. 86: 591-595.

Wells GJ (1979) Annual weed competition in wheat crops: the effect of weed density and applied nitrogen. Weed Res. 19: 185-191

Weston LA (1996) Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. Agron. J. 88: 860-866.

Wicks GA, OC Burnside & WL Felton (1994) Weed control in conservating tillage systems. In: Managing agricultural residues. pp: 211-244. Lewis pb.

Wiese AM & LK Binning (1987) Calculating the threshold temperature of development for weeds. Weed Sci. 19: 666-668.

Wilkerson GG, SA Modena & HD Coble (1991) HERB: deci-

sion model for postemergence weed control in soybean. Agron. J. 83: 413-417

Williams II MM, DA Mortensen & WJ Doran (1998) Assessment of weed and crop fitness in cover crop residues for integrated weed management. Weed Sci 46:595-603.

Wolf RB, GF Spencer & WF Kwolek (1984) Inhibition of velvetleaf *(Abutilon theophrasti)* germination and growth by benzyl isothiocyanate, a natural toxicant. Weed Sci 32:612-615.

Wu H, J Pratley, D Lemerle, T Haig & B Verbeek (1998) Differential allelopathic potential among wheat accessions to annual ryegrass. En: Procceding of the 9th Australian Agronomy Conference. Wagga-Wagga. Australia. pp: 567-571.

Wu H, J Pratley, D Lemerle & T Haig (1999) Crop cultivars with allelopathic capability. Weed Res. 39: 171-180.

Yenish JP, JD Doll & DD Buhler (1992) Effects of tillage on vertical distribution and viability of weed seed in soil. Weed Sci. 40: 429-433.

Young FL, SS Seefeldt & GF Barnes (1999) Planting geometry of winter wheat (*Triticum aestivum* L) can reduce jointing Goatgrass *(Aegilops cylindrica)* spikelet production. Weed Technol. 13:83-190.

Posibilidades y limitaciones del control biológico de malezas

Marina N. Sisterna

En el contexto de una agricultura sustentable, un enfoque más integrado en el manejo de las malezas se está desarrollando para reducir la dependencia de los herbicidas químicos y sus consecuencias. Entre los métodos o estrategias de control alternativo, el control biológico forma parte de este enfoque.

1. Control biológico

El control biológico puede ser definido como "la acción de parásitos, predatores o patógenos que mantienen la densidad de población de otros organismos en un promedio más bajo que el que ocurriría en su ausencia" (DeBach, 1964). Otros lo definen como "el uso de un agente biótico que suprime o reduce la población de una plaga" (Baker, 1987; Hoy, 1990; Watson, 1991).

El control biológico de malezas toma ventaja de los factores bióticos que influyen en la distribución, abundancia y habilidades competitivas de las plantas. Ofrece una alternativa para suprimir el crecimiento y establecimiento de las malezas. El biocontrol es satisfactorio cuando la maleza, el agente biótico y el ambiente interactúan de tal manera que se controla o suprime la maleza. El desafío está en desarrollar sistemas de manejo que favorezcan el biocontrol incrementando la interacción de estos tres componentes. Esto puede lograrse alterando la ecología y aumentando la supervivencia del agente de biocontrol, incrementando la susceptibilidad de la maleza, o alterando el ambiente para mejorar el potencial biocontrolador.

Dentro de los organismos considerados potenciales agentes bióticos de malezas, los insectos son los que han recibido una mayor atención. La gran diversidad de insectos en el mundo los hizo los primeros candidatos de investigación y desarrollo para este fin. Varios insectos fitófagos han sido usados para ello y algunos ejemplos exitosos incluyen la polilla *Cactoblastis cactorum* para controlar un tipo de cactus o "quimilo" (*Opuntia* spp.) en Australia; el escarabajo *Chrysolina quadrigemina* para el control de la "hierba de San Juan" *(Hypericum perforatum)* en Estados Unidos y una combinación de un escarabajo "comedor

de hojas", *Agasicles hygrophila* y una "polilla del tallo", *Voglia malloi* para controlar la "lagunilla" (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb) en el sur de Estados Unidos.

Sin embargo, el desarrollo de esta rama del control biológico no nos debe llevar a suponer que sólo se pueden obtener resultados satisfactorios con insectos. Más recientemente, el uso de fitopatógenos, como hongos, bacterias y nemátodos, ha dado muy buenos resultados indicando un gran potencial biocontrolador en el problema de las malezas.

1.1. Antecedentes

El control biológico de malezas con fitopatógenos ha sido un área de estudio durante aproximadamente cien años. Wilson (1969) relató que Halsted (1894) recibió una carta en 1893 sugiriendo que "si una roya, causante de una enfermedad en un cardo, pudiera ser diseminada a través del país, éste sufriría una importante reducción". Luego, Wilson (1969) describió algunos intentos de usar patógenos para controlar una especie de cactus, un muérdago y malezas agronómicas y acuáticas, y también malezas arbóreas que representan un continuo esfuerzo en el control biológico de malezas desde 1890 a 1969. Cockayne (1910) reportó que los hongos habían sido investigados como "controladores de malezas" en muchas partes del mundo pero sin éxito. Cunningham (1927) hizo referencia a que el "control natural" de malezas con fitopatógenos había recibido "mucha atención en los últimos años" para eliminarlas sin labor directa o costos excesivos y describió sencillos esfuerzos para controlar malezas con patógenos en Nueva Zelandia.

Más recientemente, el control biológico de malezas con fitopatógenos ha recibido renovado interés después de la importación y liberación de la "roya" *Puccinia chondrillina* Bubak & Syd. en Australia y los Estados Unidos para controlar infestaciones en tierras agrícolas y forestales por "achicoria dulce" (*Chondrilla juncea* L.). Además, la casi simultánea demostración de la formulación comercial de *Phytophthora palmivora* Butl. y *Colletrotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene* (Penz.) Penz. & Sacc. que pudieron controlar con eficacia y seguridad a "tasi" (*Morrenia odorata* (H.& A.) Lindl.) en Florida y la "arveja de Virginia", *Aeschynomene virginica* (L.) BSP en Arkansas, evidenció claramente que los fitopatógenos podían ser procesados y usados como productos comerciales registrados para el control de malezas con un valor mutuo, tanto para las empresas comerciales, como para las agrícolas. El potencial uso de microorganismos en la tecnología moderna y su desarrollo industrial requiere una mejor comprensión de las interacciones entre las plantas, los microorganismos y el ambiente.

1.2. Estrategias para el control biológico de malezas

Las estrategias se pueden clasificar en tres categorías:

Inoculativa o clásica: Involucra la liberación de un agente, el cual se autoperpetúa, sobrevive y dispersa naturalmente a través de la población de la maleza, alcanzando un

control por un período prolongado de la misma (Hasan & Ayres, 1990; TeBeest *et al.*,1992; Wapshere *et al.*, 1989). Esta estrategia se usa principalmente con malezas introducidas de otro continente o área geográfica y abarca la importación de uno o más de sus enemigos naturales (insecto o patógeno) del lugar del cual es originaria la maleza. Esta opción es considerada como una respuesta ecológica porque el agente reduce la población de la maleza por debajo del umbral económico y ecológico (Hasan & Ayres, 1990; Watson, 1991).

Inundativa o con bioherbicidas: El término "bioherbicida" abarca varios tipos de agentes de control biológico, incluyendo hongos y bacterias. Los patógenos pueden ser aplicados para controlar malezas dentro de un sitio geográfico específico (por ejemplo: un solo campo) mediante una aplicación inundativa de inóculo (Charudattan, 1984). Este enfoque también es llamado "micoherbicida" (Templeton *et al.*, 1979). Esta estrategia requiere la producción y aplicación de un agente específico a elevados niveles de inóculo sobre un área determinada, infestada con una maleza objetivo (Charudattan, 1991). Se han usado fitopatógenos exóticos y autóctonos. Sin embargo, la mayoría de los agentes biológicos investigados usando esta estrategia han sido autóctonos (McRae, 1988). El control usado en este enfoque se prolonga por poco tiempo ya que el agente no se autoperpetúa. En contraste con el tipo de control "clásico", el "inundativo" requiere que el tiempo de liberación del agente coincida con el momento de susceptibilidad de la maleza a éste, además de una formulación del patógeno adecuada para un rápido ataque del objetivo. Wapshere *et al.*, (1989) considera el método inundativo como una respuesta tecnológica del control de malezas porque el agente biocontrolador puede se aplicado a través de la estación del cultivo, a uno o más intervalos repetidos, para mejorar su eficacia.

Aumentativa: El agente biocontrolador es incapaz de sustentarse por sí mismo durante un largo tiempo manteniendo su población y realizando un control efectivo en todas las áreas infestadas con la maleza problema. Por lo tanto se requiere una suplementación periódica o estacional del patógeno, al menos en algunas regiones.

1.3. Características de un agente de biocontrol

Un efectivo agente de control biológico debería poseer determinadas características.

1) Debe tener una especificidad estrecha o suprimir selectivamente un organismo objetivo sin afectar las otras especies. Sin embargo el rango de hospedantes debe ser lo suficientemente amplio como para incluir especies similares de malezas ya que un rango muy limitado puede reducir el uso y el poder de comercialización del producto final.

2) El agente debe sobrevivir y realizar su función en el medioambiente. Es fácil

encontrar relaciones antagónicas en laboratorio, pero frecuentemente estas relaciones no persisten a campo bajo condiciones ambientales variables. La supervivencia de un organismo introducido es crítico y es controlado por limitaciones físicas, competencia con otros organismos, y el crecimiento en la semilla, hojas o raíz. Este microorganismo debe sobrevivir y proliferar en la hoja o en el suelo y tolerar fluctuaciones en la humedad y la temperatura. La tecnología en la formulación y aplicación debe ser desarrollada para mejorar la supervivencia y bioactividad de los microorganismos biocontroladores.

3) El agente debe controlar la maleza problema en el punto crítico de su crecimiento. Las características de las malezas son decisivas para el éxito del biocontrol. Estas incluyen los factores que influyen la colonización de la semilla, raíz u hojas; la infección por el organismo de biocontrol y la competencia de la maleza con el cultivo.

1.4. Control de malezas con la estrategia "clásica"

En este enfoque, se espera que los patógenos usados reduzcan la población de malezas a niveles muy bajos como resultado de la producción de una epidemia natural.

En 1971 la introducción de *Puccinia chondrillina* en Australia desde la región del Mediterráneo para el control de la "achicoria dulce", parece ser la primera introducción deliberada de un patógeno en un país (Cullen *et al.*, 1972). Dos razas del hongo fueron llevadas de Italia a los Estados Unidos en 1975 (Adams & Line, 1984) y durante dos años, el hongo causó infecciones severas de poblaciones de "achicoria dulce" en California, Oregon, Idaho y Washington (Lee, 1986).

Colletotrichum gloeosporioides f.sp. *clidemiae* fue aislado de hojas enfermas de "mortiño negro" (*Clidemia hirta* L.) D. Don recolectadas en Panamá por Trujillo (1986; 1992). Esta maleza tropical, originaria de América, es muy nociva y fue introducida accidentalmente en Hawaii en 1941 donde infesta más de 40.000 ha de bosques de clima lluvioso. Trujillo (1986) encontró que *C. gloeosporioides* f. sp. *clidemiae* es un patógeno agresivo y específico de *Clidemia hirta,* concluyendo que sería un efectivo agente biocontrolador si fuera introducido en Hawaii.

Actualmente tres royas importadas están siendo evaluadas en Estados Unidos para el control biológico de "lechecilla" (*Euphorbia esula* L.), "cardo" (*Carduus nutans* L spp. *leiphyllus* (Petrovic) Stoj & Stef.), y "abrepuño amarillo" (*Centaurea solstitialis* L.) (Bruckart & Dowler, 1986).

Los efectos del hongo *Puccinia lagenophorae* Cooke productor de la roya de la "hierba cana" (*Senecio vulgaris* L.) han sido estudiados en condiciones de verano e invierno en el Reino Unido luego de su introducción en Gran Bretaña en 1961 (Paul & Ayres, 1986a, b; 1987a, b). El porcentaje de mortalidad de la maleza varió con la estación elegida para inocular el patógeno (fue mayor en otoño). Esto fue atribuído a la infección de los hipocótiles que generalmente mata al hospedante en 1 o 2 semanas y compromete la habilidad de las plántulas que sobreviven para resistir el estrés hídrico.

1.5. Control biológico con bioherbicidas

Tres hongos fitopatógenos endémicos han sido registrados como pesticidas microbianos (micoherbicidas) en los Estados Unidos y Canadá para el control de malezas en sistemas agrícolas. Uno es un hongo de suelo, *Phytophtora,* mientras que los otros dos son patógenos foliares del género *Colletotrichum* (Charudattan, 1991; Greaves & MacQueen, 1992).

Phytophthora palmivora (= *Phytophthora citrophthora*) estudiado por Burnett *et al.*, (1973, 1974) y Feichtenberger *et al.* (1984) fue el hongo utilizado para formular el primer micoherbicida llamado comercialmente "De Vine" en 1981 para controlar la maleza *Morrenia odorata,* "tasi" en plantaciones de citrus (Kenney, 1986). Esta maleza fue introducida desde Sudamérica y se ha convertido en un serio problema, ya que compite por agua, luz y nutrientes, y además se enreda en las ramas interfiriendo en la cosecha, aplicación de pesticidas e irrigación. Infesta aproximadamente 120.000 ha en Florida y en este Estado fue aislado *Phytophthora palmivora* en 1972 de plantas muertas. Con este micoherbicida, de preparación líquida, se ha obtenido una mortalidad de hasta el 96% luego de 10 semanas de haber infestado el suelo y el control ha sido efectivo hasta dos años después de la aplicación (Ridings *et al.*, 1976, 1977).

Colletotrichum gloeosporioides (Penz.) Penz. & Sacc. f. sp *aeschynomene* es un fitopatógeno desarrollado y registrado comercialmente en Estados Unidos bajo el nombre de "Collego" en 1982. Controla la "arveja de Virginia", una leguminosa maleza de arroz (*Oryza sativa* L.) y soja (*Glycine max* L.) (Bowers, 1986). "Collego" está formulado como polvo mojable compuesto de esporas desecadas, es específico de la maleza y aplicado sobre el follaje como los herbicidas convencionales. En ensayos a campo, se demostró que el 100% de las plántulas inoculadas con el hongo fueron controladas dentro de unas pocas semanas después del tratamiento (Templeton *et al.*, 1981). En manos del productor, la formulación comercial produce hasta el 90% de control de la maleza cuando es usada de acuerdo con las instrucciones. El patógeno produce síntomas de antracnosis en plántulas, infectando tallos, pecíolos y folíolos (Daniel *et al.*, 1973; TeBeest, 1982, 1988). El hongo esporula abundantemente sobre la superficie de las lesiones y se dispersa por la lluvia (Yang & TeBeest, 1992a) y por las semillas infectadas (TeBeest & Brumley, 1978). El producto estuvo en el mercado desde 1982 a 1992, pero ya no se comercializa más. Esto es debido a que la demanda del mercado no justifica los costos necesarios para hacer los cambios adecuados en la tecnología para fermentar el producto.

El tercer micoherbicida, "BioMal", está compuesto por esporas de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. f. sp. *malvae* y fue registrado en 1992 en Canadá para el control de una "malva" de hoja redondeada (*Malva pusilla* Sm) en trigo (*Triticum aestivum* L.) (Grant *et al.*, 1988, 1990; Mortensen, 1988, 1991). El hongo infecta hojas, pecíolos, tallos y coronas de esta maleza con lesiones necróticas de aspecto hundido. Las plantas inoculadas con una suspensión de esporas mueren dentro de los 17 a 20 días después de la inocu-

lación, pero requiere ciertas condiciones especiales para que ocurra: un período de mojado de por lo menos 20 h con temperaturas por debajo de 30°C (Makowski, 1993). El control es un 90 a 100% efectivo en el campo y las plantas infectadas no reaparecen al año siguiente. También afecta varias especies de *Malva: Abutilon theophrasti* Medic. y *Althea rosea* (L.) Cav., pero esta enfermedad es severa sólo en *M. pusilla.* Aunque está registrado no se encuentra disponible comercialmente por cuestiones económicas.

1.6. Control biológico con bacterias fitopatógenas

Aunque las enfermedades bacterianas de malezas se han conocido y descripto desde hace muchos años (Rosen, 1924), hasta hace poco sólo algunas habían sido investigadas para un control biológico potencial en especies de malezas.

En 1994, Caesar sugirió que cepas de *Agrobacterium tumefaciens* aisladas de importantes malezas de gran distribución podían ser efectivas como agentes de control biológico de sus respectivos hospedantes. Cepas provenientes de Nuevo Méjico fueron altamente patogénicas a *Centaurea diffusa* L., causando la muerte de esta maleza.

Zhou & Neal (1995) compararon dos cepas de *Xanthomonas campestris* pv. *poannua* como agentes de biocontrol para subespecies anuales y perennes de "pasto de invierno" (*Poa annua* L.). Tanto en laboratorio como a campo fueron similares en virulencia.

Begonia *et al.* (1990) demostraron *"in vitro"* que aislamientos de *Pseudomonas* y *Erwinia herbicola* causaron clorosis y desarrollo anormal del sistema radicular en plántulas de *Abutilon theophrasti.*

1.7. Sinergismos que pueden afectar la eficacia de los agentes microbianos

El término "sinergismo" es utilizado ampliamente para indicar un uso combinado de insectos, químicos o patógenos que permiten a otros patógenos controlar malezas cuando la actividad individual de los componentes que interactúan es menos efectiva.

Sinergismo, como es empleado aquí, no debe confundirse con el uso "integrado" de varios componentes (por ej. pesticidas biológicos y químicos) que pueden o no inhibir la actividad del otro pero que, no obstante, son empleados ambos en esquemas de control efectivos (Klerk *et al.,* 1965)

1.7.1. De patógenos con otros patógenos

Se han registrado varios ejemplos con los cuales patógenos incapaces de causar niveles significativos de enfermedad actuando solos, fueron más severos en combinación con otros patógenos. Este fenómeno ha sido aplicado también al control biológico de malezas.

Alternaria macrospora Zimm. ha sido investigado como un micoherbicida potencial para controlar "malva cimarrona" (*Anoda cristata* (L.) Schlecht) en E.E.U.U. (Crowley *et al.*, 1985; Walker, 1981; Walker & Sciumbato, 1979). La susceptibilidad de "malva

cimarrona" a *A. macrospora* está altamente correlacionada con la edad de la planta. Aproximadamente el 100% de las plántulas inoculadas al estado cotiledonar murieron por la infección, pero menos del 10% lo hicieron al estado de 3ª a 4ª hoja (Walker & Sciumbato, 1979). Sin embargo, el 100% de las plantas inoculadas al estado de 4ª a 5ª hoja murieron por la interacción de *A. macrospora* y *Fusarium lateritium* Nees ex Fr. *F. lateritium* es un patógeno débil de esta maleza y causa menos del 20% de mortalidad cuando es inoculado en plántulas de forma individual. La mayor mortalidad ocurrió cuando *Alternaria* fue inoculado cinco días antes que *Fusarium.* Una explicación sugerida para la interacción *Alternaria/Fusarium* fue que *F. lateritium* penetraba e infectaba a través de las lesiones causadas por *Alternaria.* Estos resultados indican que las aplicaciones secuenciales de ambos hongos fueron más efectivas que cualquiera de ellos usados solos para el control de esta maleza.

1.7.2 De patógenos con insectos

Cercospora rodmani es un patógeno de "aguapey o jacinto de agua" (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms.-Laub.), con potencial biocontrolador (Conway, 1976a). Este hongo causa lesiones foliares y es capaz de causar severos daños en "aguapey" (Conway, 1976b; Charudattan, 1986). Esta maleza es parasitada por una variedad de hongos y bacterias y al menos dos insectos: *Neochetina eichorniae* Warner, y *Orthogalumna terebrantis* Wallwork (Charudattan *et al.*, 1978). En general se comprobó que las plantas infestadas con estos artrópodos se enfermaron más que aquellas sin insectos (Charudattan *et al.*, 1985). Charudattan (1986) concluyó que la combinación de insectos con *Cercospora* podrían controlar hasta el 99 % de plantas de "aguapey" hasta siete meses después de aplicado el tratamiento.

Yang & TeBeest (1992b, 1994) demostraron que la rana arborícola *Hyla cinerea* Schneider y las langostas *Conocephalis* spp. y *Melanoplus differentialis* (Thos.) pueden ser importantes vectores en la dispersión del inóculo y la enfermedad causada por *Colletotrichum gleosporioides* f. sp. *aeschynomene* ("Collego") sobre "arveja de Virginia". Si bien no cuantificaron el rol que estos dos grupos de vectores juegan en el control de la maleza por este pesticida biológico, registraron que la mayoría de las ranas arborícolas llevaban al patógeno en sus cuerpos, mientras que sólo una pequeña cantidad de langostas lo hacían en su aparato bucal y patas.

1.7.3. De patógenos con químicos

Un futuro promisorio tiene la posible interacción de fitopatógenos y la utilización de varios químicos, incluyendo herbicidas, para incrementar la efectividad de agentes biológicos por el debilitamiento de la resistencia del hospedante por un patógeno (Charudattan, 1993).

Gohbara & Yamaguchi (1993) demostraron que el uso combinado del herbicida pyrazosulfuron-etílico y el hongo *Exserohilum monoceras* (Drechsler) Leonard &Suggs tenía

un significativo sinergismo en el control de "capín" (*Echinochloa* spp.) en arroz en Japón. La aplicación de este herbicida causó 100% de mortalidad de plántulas, excediendo el control del pyrazosulfuron solo o del hongo solo con similares concentraciones de conidios.

De igual forma, en Holanda, Scheepens (1987) concluyó que la atrazina fue sinergística con el patógeno *Cochiobolus lunatus* Nelson.& Haasis para el control de "capín" *Echinochola crus-galli* (L.) Beauv. en maíz. Los ensayos se realizaron bajo condiciones controladas en invernáculo, donde plántulas de capín tuvieron un control positivo con el hongo después de ser tratadas con una dosis subletal de atrazina.

2. Limitaciones del control biológico

Hay varios problemas que limitan el éxito para desarrollar y comercializar bioherbicidas. La *elección del agente* adecuado es muy compleja. Los programas de selección previa son muy importantes e involucran sólo un sistema vegetal individual: la maleza. Pero, el potencial biocontrolador sólo se puede verificar cuando los ensayos son conducidos combinando el cultivo con la maleza en condiciones de campo con ésta ultima en distintas densidades.

La *selección de la maleza objetivo o problema* es también importante. Muchos micoherbicidas son específicos de una maleza o un grupo de ellas, con lo cual se restringe su potencial comercial a pequeños sitios en el mercado (Makowski, 1997).

Ciertos *requerimientos* de los micoherbicidas también limitan su eficacia. Entre ellos están la duración del período de mojado y el régimen de temperatura para la infección y desarrollo de la enfermedad (Charudattan, 1991;TeBeest *et al.*,1992).

Otros *factores tecnológicos* limitantes son: la producción en cantidad del inóculo, la formulación, conservación y distribución en el sistema. Estos deben estar bien consignados para que un bioherbicida sea un éxito a nivel comercial (Greaves & MacQueen, 1992). Se requiere además una producción en larga escala de propágulos viables y estables del agente biocontrolador (como esporas de hongos, micelio, células bacterianas), siendo el método de fermentación sumergida el más comunmente usado para la producción "en masa" (Auld & Morin, 1995). Rhodes (1990) y Greaves & MacQueen (1990) afirman que muchos avances en técnicas de formulación de bioherbicidas frecuentemente no se registran en la literatura debido a que las investigaciones son desarrolladas en forma privada.

La *aplicación del agente biocontrolador* con otros productos químicos como herbicidas, insecticidas y fungicidas puede ser otro obstáculo a tener en cuenta. Puede haber problemas si los micoherbicidas son incompatibles con los pesticidas químicos, especialmente si su viabilidad y eficacia son afectadas adversamente por los químicos (Chadurattan, 1991; Hoy, 1990).

3. Consideraciones futuras

Comprender que la naturaleza está en un delicado equilibrio no ha sido nunca tan sutil como cuando estamos tratando con adversidades o pestes. Este equilibrio puede ser perturbado de numerosas maneras: introduciendo un organismo extraño, modificando el entorno del organismo nativo, cambiando las prácticas culturales, distribuyendo o destruyendo selectivamente los organismos, etc. El hombre se reconoce como el primer perturbador del equilibrio biológico, pero él también ha incrementado el poder de manipular las entidades biológicas. Dos de los mayores competidores en la alimentación del hombre son las malezas y los patógenos. Es, por lo tanto, un desafío el inducir a estas dos fuerzas una contra la otra e inclinar el equilibrio biológico a favor del hombre. El control biológico requiere un entendimiento de la ecología del sistema, sus participantes, y su especificidad vegetal. Los enfoques que poseen una base ecológica como el control biológico y toman en consideración todos los componentes incluyendo la maleza, el agente biocontrolador, y el ambiente, tienen grandes posibilidades de obtener importantes resultados en el manejo de plagas dentro de un sistema sustentable.

Auld BA & L Morin (1995) Constraints in the development of bioherbicides. Weed Technol. 9: 638-652.

Adams EB & RF Line (1984) Biology of *Puccinia chondrillina* in Washington. Phytopathology 74: 742-745

Begonia MTF, RJ Kremer, L Stanley & A Jamshedi (1990) Association of bacteria with velvetleaf roots. Trans. Missouri Acad. Sci. 24: 17-26.

Baker KF (1987) Evolving concepts of biological control of plant pathogens. Annu. Rev Phytopathol. 25: 67-85.

Bowers RC (1986) Commercialization of collego - An industrialist's view. Weed Sci. 34 (Suppl. 1): 24-25.

Bruckart WL & W Dowler (1986) Evaluation of exotic rust fungi in the United States for classical biological control of weeds. Weed Sci. 34 (Suppl. 1): 11-14.

Burnett HC, DPH Tucker & WH Ridings (1974) *Phytophthora* root and stem rot of milkweed vine. Plant Dis. Reptr. 58: 355-357.

Burnett HC, DPH Tucker & ME Patterson (1973) Biological control of milkweed vine with a race of *Phytophthora citrophthora.* Proceedings of Florida Horticultural Society 86: 111-115.

Caesar AJ (1994) Pathogenicity of *Agrobacterium* species from the noxious rangelands weeds *Euphorbia esula* and *Centaurea repens.* Plant Dis. 78: 796-800.

Charudattan R (1984) Microbial control of plant pathogens and weeds. J. Georgia Entomol.: 40-62.

Charudattan R (1986) Integrated control of waterhyacinth *(Eichornia crassipes)* with a pathogen, insects and herbicides. Weed Sci. (Suppl. 1) 26-30.

Charudattan R (1991) The mycoherbicide approach with plant pathogens. En: Microbial of weeds. DO TeBeest (Ed.), Chapman & Hall, New York, pp. 24-57.

Charudattan R (1993) The role of pesticides in altering biocontrol efficacy. En: Pesticides Interactions in Crop Production. Altman J. (Ed.), CRC Press, Ann Arbor, MI, pp. 421-432.

Charudattan R, SB Linda, M Kluepfel & YA Osman (1985) Biocontrol efficacy of *Cercospora rodmanii* on waterhyacinth. Phytopathology 75 : 1263-1269

Charudattan R, BD Perkins & RC Littel (1978) Effects of fungi and bacteria on the decline of arthropod-damaged waterhyacinth *(Eichornia crassipes)* in Florida. Weed Sci. 26: 101-107.

Cockayne AH (1910) Fungi as weed controllers. New Zealand J. Agric. 1: 214-215.

Conway KE (1976a) *Cercospora rodmanii*, a new pathogen of waterhyacinth with biological control potential. Can. J. Bot. 54: 1079-1083.

Conway KE (1976b) Evaluation of *Cercospora rodmanii* as a biological control of waterhyacinths. Phytopathology 66: 914-917.

Crawley DK, HL Walker & JA Riley (1985) Interaction of *Alternaria macrospora* and *Fusarium lateritium* on spurred anoda. Plant Dis. 69: 977-979.

Cullen JM, PF Kable & M Catt (1972) Epidemic spread of a rust imported for biological control. Nature 244: 462-464.

Cunningham GH (1927) Natural control of weeds and insects by fungi. New Zealand Rept. Agr. Bull 132.

Daniel JT, GE Templeton, RJ Smith Jr. & WT Fox (1973) Biological control of northern jointvech in rice with an endemic fungal disease. Weed Sci. 21: 303-307.

DeBach P (1964) Biological control of insects, pests and weeds. Reinhold, New York.

Feichtenberger E, GA Zentmeyer & JA Menge (1984) Identity of *Phytophthora* isolated from milkweed vine. Phytopathology 74: 50-55.

Grant NT, E Prusinkiewicz, RMD Makowski, B Holmstrom-Ruddick & K Mortesen (1990) Effect of selected pesticides on survival of *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae,* a bioherbicide for round-leaved mallow *(Malva pusilla).* Weed Technol. 4: 701-715.

Grant NT, E Prusinkiewicz, K Mortensen & RMD Makowski (1988) Herbicide interactions with *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *malvae* a bioherbicide for round-leaved mallow *(Malva pusilla)* control. Weed Technol. 4: 716-723.

Greaves MP & MD MacQueen (1992) Bioherbicides: their role in tomorrow's agriculture. En: Resistance: Achievements and developments in combating pesticide resistance. Sci. Symp., Harpenden, England. Pp. 295-306.

Gohbara M & K Yamaguchi (1993) Biological agents for the control of paddy weeds in Japan. Extension Bulletin N° 369. Food & Fertilizer Technology Center, Taipei City. Republic of China on Taiwan.

Halsted BD (1894) Weeds and their most common fungi. New Jersey Expt. Sta. Rept. 379- 381.

Hasan S & PG Ayres (1990) The control of weeds through fungi: principles and prospects. New Phytol. 115: 201-222.

Hoy MA (1990) Commentary: The importance of biological control in U.S. agriculture. J.Sustain. Agr. 1:59-79.

Kenney DS (1986) DeVine-The way it was developed-An industrialist's view. Weed Sci 34 (Suppl.1): 15-16.

Klerk RA, RJ Smith Jr. & DO TeBeest (1985) Integration of a microbial herbicide into weed and pest control programs in rice *(Oryza sativa).* Weed Sci. 33: 95-99.

Lee GA (1986) Integrated control of rush skeletonweed *(Chondrilla juncea)* in the western U.S. Weed Sci. 34 (suppl. 1): 2-6.

Makowski RMD (1993) Effect of inoculum concentration, temperature, dew period and plant growth stage on disease of round-leaved mallow and velvetleaf by *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae.* Phytopathology 83: 1229-1234.

Makowski RMD (1997) Foliar pathogens in weed biocontrol: Ecological and regulatory constaints. En: Ecological interactions and biological control. Andow DA, DW Ragsdae & RF Nyvall (Ed.), Westview Press.

McRae CF (1988) Classical and inundative approaches to biological weed control compared. Plant Prot. Quart. 3: 124-127.

Mortensen K (1988) The potential of an endemic fungus *Colletotrichum gloeosporioides,* for biological control of round-leaved mallow *(Malva pusilla)* and velvetleaf *(Abutilon theophrasti).* Weed Sci. 36: 473-478.

Mortensen K & RMD Makowski (1990) Field efficacy at different rates of *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae* as a bioherbicide for round-leaved mallow *(Malva pusilla* Sm.) En: ES Delfosse (Ed.). Proc. Of the VIIth. Intl. Symp. on the Biological Control of Weeds, 1988, Rome, pp.523-530.

Paul ND & PG Ayres (1986a) Seasonal effects on rust disease *(Puccinia lagenophorae)* of *Senecio vulgaris.* Symbiosis 2: 165-173.

Paul ND & PG Ayres (1986b) The impact of a pathogen *(Puccinia lagenophorae)* on populations of groundsel *(Senecio vulgaris)* overwintering in the field. J.Ecol. 74: 1069-1084.

Paul ND & PG Ayres (1987a) Effects of rust infection of *Senecio vulgaris* on competition with lettuce. Weed Res. 27: 431-441.

Paul ND & PG Ayres (1987b) Survival, growth and reproduction of groundsel *(Senecio vulgaris)* infected by rust *(Puccinia lagenophorae)* in the fields during summer. J. Ecol 75: 61-71.

Rhodes DJ (1990) Formulations requeriments for biological control agents. Aspects Appl. Biol. 24: 145-153.

Rindings WH, DJ Mitchell, CL Schoulties & NE El-Gholl (1976) Biological control of milkweed vine in Florida citrus groves with a patotype of *Phytohthora citrophthora.* Proceedings IV Int. Symp. Biol. Control Weeds, Gainesville, FL, pp.224-240.

Rindings WH, CL Schoulties, NE El-Gholl & DJ Mitchell (1977) The milkweed vine pathotype of *Phytophthora citrophthora* as a biological control agent of *Morrenia odorata.* Proceedings Int. Soc. Citriculture 3: 877-881.

Rosen HR (1924) A bacterial disease of foxtail *(Chaetochloa lutescens).* Arkansas Agricultural Experiment Station, Bulletin N° 193, Fayatteville, AR.

Scheepens PC (1987) Joint action of *Cochliobolus lunatus* and atrazine on *Echinochloa crus- galli* (L.) Beauv. Weed Res. 27: 43-47.

TeBeest DO (1982) Survival of *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene* in rice irrigation water and soil. Plant Dis. 66: 469-472.

TeBeest DO (1988) Additions to the host range of *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene.* Plant Dis. 72: 16-18.

TeBeest DO & JM Brumley (1978) *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene* borne within the seed of *Aeschynomene virginica.* Plant Dis. Reptr. 62: 675-678.

TeBeest DO, XB Yang & CR Cisar (1992) The status of biological control of weeds with fungal pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 30: 637-657.

Templeton GE, DO TeBeest & RJ Smith Jr. (1979) Biological weed control with mycoherbicides. Ann. Rev. Phytopathol. 17: 301-310.

Templeton GE, RJ Smith Jr., DO TeBeest, JN Beasley & RA Klerk (1981) Field evaluation of dried fungus spores for biocontrol of curly indigo in rice and soybeans. Arkansas Farm Res. 30 (6): 8.

Trujillo EE (1986) *Colletotrichum gloeosporioides,* a possible biological control agent for *Clidemia hirta* in Hawaiian forests. Plant Dis. 70: 974-976.

Trujillo EE (1992). Bioherbicides. En: Frontiers in Mycology. Leatham G.F. (Ed.), Chapman & Hall, New York, pp.196-211.

Walker HL (1981) Factors affecting biological control of spurred anoda *(Anoda cristata)* with *Alternaria macrospora.* Weed Sci. 29: 505-507.

Walker HL & GL Sciumbato (1979) Evaluation of *Alternaria macrospora* as a potential biocontrol agent for spurred anoda *(Anoda cristata):* host range studies. Weed Sci. 27: 612-614.

Wapshere AJ, ES Delfosse & JM Cullen (1989) Recent developments in biological control of weeds. Crop Protection 8: 227-250.

Watson AK (1991) The classical approach with plant pathogens. En: Microbial control of weeds. TeBeest D.O.(Ed.), Chapman &Hall, New York. pp.3-23.

Wilson CL (1969) Use of plant pathogens in weed control. Annu. Rev. Phytopathol. 9:411-434.

Yang XB & DO TeBeest (1992a) Rain dispersal of *Colletotrichum gleosporioides* under simulated rice field conditions. Phytopathology 81: 1219-1222.

Yang XB & DO TeBest (1992b) Green treefrogs as vectors of *Colletotrichum gloeosporioides.* Plant Dis. 76: 1266-1269.

Yang XB & DO TeBest (1994) Distribution and grasshopper transmission of northern jointvetch anthracnose in rice. Plant Dis. 78: 130-133.

Zhou T & JC Neal (1995) Annual bluegrass *(Poa annua)* control with *Xanthomonas campestris* pv. poa annua in New York State. Weed Technol. 9: 173-177.

Posibilidades y limitaciones del uso de la habilidad competitiva para el manejo de malezas en una agricultura sustentable

Horacio A. Acciaresi y Rodolfo Bezus

La agricultura sustentable apunta a la protección de los recursos naturales, la producción de un volumen adecuado de alimentos de buena calidad de acuerdo a la necesidad de la sociedad, siendo razonablemente rentable (Korres & Froud-Williams, 1998).

Este enfoque se apoya en los procesos naturales benéficos y en los recursos renovables disponibles, incorporando el concepto de manejo integrado del cultivo, el cual, teniendo como objetivo la sustentabilidad del agroecosistema, involucra conjuntamente el manejo del cultivo y de adversidades biológicas, como partes integrantes del sistema agrícola (Buhler, 1996).

El manejo de adversidades biológicas, y en este caso, el manejo sustentable de malezas, incorpora aspectos tales como el mejoramiento genético, prácticas de manejo del cultivo, control químico y mecánico de malezas, competencia interespecífica maleza-cultivo, manejo sucesional y manejo de suelos dentro de una metodología destinada a la reducción de la interferencia de malezas, manteniendo constantes los niveles de producción del cultivo. Debe estar concebido y dirigido para ser económica, ambiental y socialmente aceptable. El manejo sustentable de malezas involucra el uso de tácticas biológicas y físicas en forma integrada, justificando el uso de herbicidas sólo por encima de determinado umbral y cuando su empleo sea adecuado desde un punto de vista ambiental y económico (Lyon *et al.*, 1996).

Dentro de este manejo se incorporan aquellos procedimientos (densidad, arreglo espacial, fertilización localizada) que modifican las condiciones del cultivo a fin de influir en la competitividad del mismo. El uso de cultivares competitivos forma parte de estos procedimientos culturales (Mohler, 1996).

La interferencia de los cultivos con las malezas es un método primario no químico para su manejo y el uso de variedades competitivas es un recurso compatible con la mayoría de las estrategias de manejo integrado de malezas. Mejorar la habilidad competitiva en los cultivos es un objetivo muy importante que puede contribuir a reducir la dependencia de los herbicidas, permitiendo el diseño de nuevas tecnologías de manejo de malezas (Bastiaans *et al.*, 1997).

Diversos estudios en cultivos extensivos de importancia económica han puesto de manifiesto la existencia de variación en las características que podrían ser exploradas para lograr el desarrollo de variedades con mayor habilidad competitiva hacia las malezas.

El mejoramiento genético vegetal, persiguió históricamente objetivos que permitieran aumentar los rendimientos y la calidad. A su vez, acompañó el desarrollo tecnológico adaptando el cultivo a la mecanización, mejorando su capacidad de responder a fertilizantes y otros insumos. La resistencia genética fue utilizada como una de las alternativas más eficaces ante las enfermedades y los distintos tipos de estrés. La mejora por habilidad competitiva, en cambio, no fue considerada dentro de una filosofía en la cual prevalecía el concepto de eliminación de las malezas, sustentado por el desarrollo de herbicidas.

No obstante el gran desarrollo alcanzado por los herbicidas, en la actualidad las malezas continúan siendo una de las principales limitantes de los cultivos. Además, si se considera que la presencia de malezas es una consecuencia de las prácticas agronómicas y la competencia una disputa por los recursos que estas prácticas ponen en juego, la selección para mejorar el comportamiento de los cultivos frente a las malezas debería buscar, no sólo una mayor habilidad competitiva, sino además caracteres de adaptación a técnicas alternativas de manejo de malezas.

1. Estudio de la habilidad competitiva en los cultivos de interés agrícola

La competencia es uno de los procesos más importantes que regulan el crecimiento y supervivencia de las plantas, afectando la composición y la estructura de las comunidades vegetales ya sean naturales ó implantadas. El término competencia puede definirse como *"el proceso a través del cual las plantas comparten recursos (nutrientes minerales, agua y luz), que están provistos en cantidad insuficiente para satisfacer sus requerimientos combinados, lo que conduce a la reducción de la supervivencia, crecimiento y/o habilidad reproductiva de todos los individuos"* (Satorre, 1988).

La *habilidad competitiva* de una especie, genotipo ó población es la capacidad para obtener recursos escasos cuando crece en competencia (Satorre, 1988) y puede ser analizada de dos maneras diferentes: la habilidad para *tolerar* la competencia por las malezas manteniendo su nivel productivo y/o la habilidad para *suprimir* el crecimiento de las mismas. El primer aspecto se puede cuantificar por medio de la evaluación de la producción del cultivo creciendo en una mezcla con distintas densidades de malezas. La habilidad para suprimir el crecimiento de las malezas, en cambio, puede cuantificarse midiendo la producción de la maleza en la asociación con el cultivo. Es posible que las características que le brindan a una variedad capacidad para tolerar la presencia de la maleza puedan diferir de aquellas que le brindan capacidad para suprimirla, no estando presentes en el mismo material. No obstante, en trigo *(Triticum aestivum)* se demostró

que existe generalmente una asociación estrecha entre la caída de la producción del cultivo y la producción de materia seca de la maleza. Christensen (1995) encontró una relación similar entre la pérdida de rendimiento de cebada *(Hordeum distichum)* y la producción de *Brassica napus,* empleada como modelo de maleza.

Para hacer un uso eficiente de la habilidad competitiva habrá que determinar aquellas características morfofisiológicas que sirvan como indicadores de un mejor comportamiento del cultivo respecto a las malezas. De este modo se requiere un acabado conocimiento del proceso competitivo cultivo-maleza, estableciendo de que manera las características morfofisiológicas de ambos componentes se relacionan y contribuyen al establecimiento de dicho proceso (Satorre & Snaydon, 1992). El conocimiento exhaustivo de estas relaciones permitirá superar la brecha existente entre la cuantificación de este proceso competitivo y el manejo del mismo en condiciones de producción comercial permitiendo, entre otros aspectos, predecir las pérdidas de producción de los cultivos, valorar los riesgos de los nuevos métodos de control y explorar aspectos para mejorar la habilidad competitiva de los distintos cultivos y variedades.

La competencia ejercida por un cultivo puede ser usada como una alternativa para reducir el crecimiento de la maleza, incrementando la mortalidad de la misma, disminuyendo las pérdidas en rendimiento del cultivo y la producción de semilla de la maleza (Cousens & Mokhtari, 1998). Asimismo, al incrementar la interferencia del cultivo hacia la maleza será posible reducir la dosis de herbicida a emplear, manejando el nivel de malezas y manteniendo el nivel productivo del sistema.

No obstante, la naturaleza de la relación entre la competencia y las características de los genotipos asociadas a la competitividad está aún bajo discusión (Cousens & Mokhtari, 1998).

Existen distintos trabajos llevados a cabo para diferentes cultivos, en donde se observa de qué manera distintas variables han sido relacionadas con la capacidad de brindar habilidad competitiva al cultivo y cómo se modifican de acuerdo a la especie de maleza involucrada en el proceso competitivo y la naturaleza de la competencia. (Tabla 1).

Cebada

Un ensayo realizado en Dinamarca con siete variedades de cebada *(Hordeum distichum)* demostró que la biomasa de *Brassica napus* (tomada como modelo de maleza) era un 48% menor que la biomasa promedio en todas las variedades cuando competía con la variedad más agresiva (Ida), que a su vez era la variedad que menor pérdida de rendimiento registraba en competencia con la maleza. No obstante, esta variedad Ida era la que registraba el menor rendimiento en grano cuando se sembraba en ausencia de maleza. Por otra parte, la biomasa aérea de *Brassica napus* era un 31% mayor que el promedio cuando competía con la variedad Grit, la de menor habilidad supresiva (que registraba a su vez la mayor pérdida de rendimiento frente a la maleza), siendo esta la variedad de mayor rendimiento en cultivo en ausencia de maleza (Christensen, 1995). De

este modo, no era posible relacionar la capacidad productiva de las distintas variedades y la habilidad supresiva de malezas. Las variables que establecieron las diferencias entre las variedades fueron la altura máxima del canopeo, la intercepción máxima de radiación y la distribución temporal de la intercepción lumínica.

Maíz

En ensayos llevados a cabo en maíz *(Zea mays),* se observó que la altura a la cual se registraba el mayor índice de área foliar (IAF), la tasa de expansión del canopeo y la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa eran variables relacionadas con una mayor habilidad competitiva cuando competía con *Abutilon theophrasti* (Lindquist & Mortensen, 1998).

Es posible modificar la habilidad competitiva ya sea obteniendo materiales con estas características a través del mejoramiento genético ó por medio de prácticas culturales como el aumento de la densidad ó la disminución de la distancia entre hileras. Estos factores son importantes en cultivos irrigados en donde se han satisfecho requerimientos de humedad y nutrientes, convirtiéndose la radiación solar en el principal factor de competencia. Por otra parte se determinó que mientras el crecimiento foliar en etapas iniciales del cultivo no era importante (a diferencia de lo observado en sorgo), el tiempo térmico hasta el 50% del IAF máximo y la altura máxima era muy importante, indicando que la tasa de crecimiento durante la fase más rápida de expansión del canopeo era un factor a tener en cuenta en la habilidad supresiva del cultivo y su tolerancia respecto a la maleza estudiada.

Trigo

En trigo *(Triticum aestivum)* un número interesante de trabajos ha probado la existencia de diferencias en la habilidad competitiva respecto a distintas especies de malezas. Esta habilidad se asoció (en algunos estudios) a variables tales como la variación de biomasa aérea y de producción de semilla de las malezas que competían con el cultivo. También se asoció la habilidad competitiva al área foliar e intercepción de radiación que *Avena fatua* ejercía sobre el cultivo en condiciones no limitantes de agua y disponibilidad de nutrientes. En esta situación la maleza era capaz de disponer sus hojas por encima del cultivo, alcanzando un IAF máximo en la parte superior de la planta (Cudney *et al.*, 1991). No obstante, en condiciones de baja disponibilidad de nitrógeno, la superioridad competitiva de la maleza respecto del cultivo se revierte, quizás debido a una reducción en la altura de la maleza y una pérdida de la capacidad de sombrear al cultivo. Otros autores vincularon la capacidad competitiva del cultivo en competencia con *Chenopodium album* con la producción foliar (IAF y diámetro de canopeo) (Karim *et al.*, 1997). Se observó también que un mayor vigor inicial, una rápida cobertura del suelo por parte del cultivo, una mayor capacidad de macollaje, mayor altura y un hábito de crecimiento postrado pueden ser características conducentes a otorgar una mayor capacidad competitiva del cultivo de trigo respecto a *Lolium rigidum.* Un estudio de competencia entre doce variedades de trigo argentinas con *Brassica sp.*, relacionó la altura de la

espiga y de la planta del cultivo (medidas en ausencia de maleza) con una mayor agresividad del cultivo. Las variedades difirieron en su producción de materia seca, rendimiento en grano y número de granos en las mezclas (Satorre & Guglielmini, 1990). En tanto estos autores no encontraron diferencias en el efecto de las variedades sobre la producción de materia seca de la maleza cuando creció en competencia con el cultivo.

Arroz

Un caso particular dentro de los estudios de habilidad competitiva lo constituye el arroz *(Oryza sativa),* debido a las condiciones disímiles de cultivo que van desde la producción en suelos inundados hasta en secano. Aún en condiciones de inundación donde el agua se utiliza como forma de manejo de malezas, su control resulta dificultoso y crónico (Fischer *et al.*, 1997). En este cultivo como en otros la obtención de cultivares siguió la evolución de los métodos culturales y se ha realizado en desmedro de la habilidad competitiva incrementándose los requerimientos de control de malezas en las variedades modernas (Moody, 1979).

En distintos estudios de competencia de arroz con diferentes malezas se han asociado las características del canopeo que favorecen la captura de luz con la habilidad para suprimir las malezas ó sostener los rendimientos en presencia de ellas, resultando los cultivares de mayor altura y más foliosos los mejores competidores (Garrity, 1992). Además de la altura, la biomasa en estados tempranos de crecimiento y el ciclo fueron los caracteres que más significativamente se asociaron con la habilidad competitiva (Kawano *et al.*, 1974). Estos autores plantean la importancia del vigor vegetativo que permite hacer un mejor uso del nitrógeno, no encontrando correlación entre la capacidad de macollaje y la habilidad competitiva. En cambio Fofana *et al.*, (1995) asociaron una menor biomasa de malezas a un mayor número de macollos. Las variedades tradicionales, de mayor IAF, tienen mayor capacidad competitiva pero son frecuentes los trabajos que la correlacionan negativamente con el rendimiento (Bastiaans *et al.*,1997, Johnson *et al.*,1998).

Estudiando la competencia de los cultivares Starbonnet, Nova 66 y Bluebelle, Smith (1974) encontró diferencias en las disminuciones de rendimientos al someterlos a la competencia con capín (*Echinochloa crus-galli*). Se encontraron reducciones de rendimientos de un 38 a un 64% planteándose una relación positiva entre el ciclo y la habilidad competitiva.

En condiciones de secano, Garrity *et al.* (1992) compararon 25 cultivares de arroz para determinar su capacidad de supresión de malezas y determinaron que la biomasa de éstas al competir con los cinco cultivares más agresivos fue un 75% menor que al hacerlo con los cinco menos agresivos.

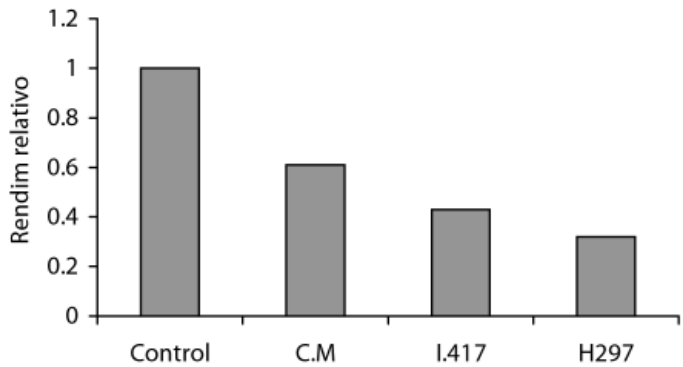
Fischer *et al.* (1997), compararon 14 cultivares de arroz en Latinoamérica en su capacidad de supresión sobre capín encontrando diferencias entre ellos. En esta experiencia la caída de rendimientos de los cultivares varió de un 27% a un 60% lo que muestra la capacidad de soportar la competencia. La biomasa de la maleza fue de un 37% a

un 42% menor con la variedad más competitiva que con la de menor agresividad. Es importante señalar que se incluyeron cultivares de distintos tipos pero en su mayoría de altos rendimientos en condiciones libres de malezas.

En un estudio realizado en Argentina (Bezus, 2000) se evaluó la competencia de capín a densidades de 10 y 20pl.m^{-2} con 3 genotipos de arroz: IRGA 417, Colonia Macias y la línea H297-59 de características morfofisiológicas contrastantes. La merma en el rendimiento del cultivo fue de 39% cuando compitió con Colonia Macias, 57% con IRGA 417 y 68% con la línea H297-59 (Figura 1). En competencia, Colonia Macias superó en producción de biomasa a IRGA 417 en un 35%. La biomasa final del capín se redujo un 67% al competir con Colonia Macias y un 37% con IRGA 417. Las características morfofisiológicas de Colonia Macias le confirieron un mejor comportamiento frente a capín, definiendo un tipo de planta de mayor habilidad competitiva frente a la maleza.

Figura 1

Rendimiento relativo promedio respecto al control de tres variedades de arroz *(Oryza sativa)* en competencia con 10 y 20pl.m^{-2} de capín *(Echinochloa crusgalli)*. C.M: Colonia Macias, I.417: Irga 417 y H297: línea experimental H297-59. (Bezus, 2000).



Sorgo

En sorgo *(Sorghum bicolor)* se realizaron estudios de competencia con *Amaranthus hybridus* y *Setaria viridis,* en los que se estableció que la ventaja competitiva frente a estas malezas se debió a una rápida germinación y emergencia del cultivo y a un mayor crecimiento aéreo y radical en las primeras etapas del ciclo del cultivo (Guneyli *et al.*, 1969)

Soja

En soja (*Glycine max*) también se han encontrado diferencias entre cultivares en cuanto a su competitividad, pero ha sido escasa su aplicación. Burnside (1972) evaluó la habilidad competitiva de 10 cultivares de soja sometidos a distintos tratamientos con herbicidas. Las especies de malezas predominantes fueron *Amaranthus tuberculatos* y *Setaria viridis.* Los tres cultivares de menor competitividad rindieron un 18% menos que

los más competitivos. Asimismo, encontró diferencias en la biomasa de las malezas siendo ésta mayor al competir con el cultivar de menor altura.

McWhorter & Barrentine (1975) estudiaron el control de *Xanthium pennsilvanicum* en soja variando la densidad de siembra, el cultivar y el método de control. El cultivar "Bragg" fue el más competitivo reduciendo su rendimiento entre un 7% y un 39% para espaciamientos entre hileras de 33 y 100cm, respectivamente. Para el resto de los cultivares las disminuciones de rendimiento fueron de un 20% para el primer espaciamiento y de 32 % a 52% para el segundo. McWhorter & Harwig (1972), encontraron que el mismo cultivar mostró una mayor habilidad competitiva frente a sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) demostrando una buena capacidad para competir con malezas muy diferentes.

Poroto

En poroto (*Phaseolus vulgaris*), Wilson *et al.*, (1980), identificaron cultivares que al sombrear rápidamente el suelo suprimían el crecimiento de las malezas después del último control mecánico.

En un estudio para definir las características que contribuyen a la supresión de malezas se evaluaron 20 genotipos de poroto y se encontró que la habilidad para suprimir las malezas fue independiente del hábito de crecimiento (determinado ó indeterminado). En cambio se halló que se relacionaba con el tamaño de la hoja, el IAF y la tasa de crecimiento, explicando las dos primeras variables el 73% de la variación entre los genotipos (Wortmann, 1993).

Los estudios hasta aquí citados dejan ver que existen, para la mayoría de los cultivos, cultivares con diferencias en la habilidad competitiva y que a partir de trabajos de mejoramiento genético cuyos objetivos involucren la habilidad competitiva, se podrían diseñar ideotipos adaptados a sistemas de cultivo más sustentables manteniendo los rendimientos en niveles aceptables. Para ello, es necesario desarrollar una metodología que involucre la evaluación de la habilidad competitiva dentro de los planes de mejoramiento genético.

Tabla 1

Características de distintos cultivos asociadas a una mayor habilidad competitiva (referencias bibliográficas en el texto).

Cultivo	Características de habilidad competitiva
Trigo	Vigor, cobertura inicial, índice de área foliar, diámetro del canopeo, capacidad de macollaje, crecimiento postrado, altura.
Arroz	Vigor vegetativo, altura, índice de área foliar, número de macollos, ciclo.
Sorgo	Vigor inicial, tasa de crecimiento aéreo y radical.
Cebada	Capacidad de intercepción lumínica, altura.
Maíz	Altura, tasa de expansión foliar.
Soja	Altura, hábito de crecimiento.
Poroto	Área foliar, índice de área foliar, tasa de crecimiento.

2. Técnicas de evaluación de la habilidad competitiva

Como se estableció anteriormente, la competencia se establece por recursos tales como la radiación, el agua y los nutrientes del suelo. Si se considera el ciclo del cultivo, probablemente existirán pocas posibilidades de que, bajo condiciones de campo, la competencia sea sólo por un único factor. No obstante, bajo ciertas circunstancias y en cierto tiempo pueden estar involucrados factores individuales en el proceso de competencia. La razón obedece al dinamismo existente entre las plantas que están compitiendo y su relación con el ambiente.

Así, la competencia por un factor puede modificar la forma de crecimiento de una de las plantas involucradas en el proceso competitivo, modificando en consecuencia la habilidad para la utilización de otro recurso ambiental. Además, este proceso es agravado por las relaciones de densidad que cambian en el tiempo y por impacto de determinados factores ambientales (por ejemplo la temperatura).

Para conocer cual es el recurso por el cual compiten el cultivo y la maleza, es decir el mecanismo de la competencia, existen varios métodos de estudio. Entre ellos se encuentran los que utilizan *particiones aéreas y subterráneas,* los que describen y analizan la *variación de los recursos,* los que realizan mediciones de la *captura de recursos* ó *estado fisiológico* de ambos componentes en la asociación, entre otros.

2.1. Diseños

Para estos estudios se han desarrollado varios métodos que se basan en distintos tipos de experimentos, entre los cuales pueden mencionarse los diseños ***aditivos, sustitutivos*** y ***sistemáticos*** entre otros.

En los experimentos ***aditivos*** una de las especies se mantiene a densidad constante mientras se hace variar la de la segunda. Este método ha sido ampliamente utilizado en estudios agronómicos con malezas. Su ventaja radica en que simula el proceso invasivo de las malezas en los sistemas agrícolas. Es criticado debido a que la densidad total de plantas varía entre tratamientos y la proporción entre especies cambia simultáneamente con la densidad total. De acuerdo a lo dicho no permite evaluar la influencia de la densidad total y la proporción de las especies en la competencia.

Los experimentos ***sustitutivos*** se dividen en tres tipos: series de reemplazo, diseño de Nelder y diseños dialélicos.

Las *series de reemplazo* incluyen las monoculturas de las dos especies y las mezclas en las proporciones que se desee estudiar manteniendo la densidad total constante.

El *diseño de Nelder* resulta útil para el estudio de la competencia entre individuos de la misma especie. Consiste en establecer una grilla de plantas dispuestas en arco donde las distancias entre plantas van aumentando progresivamente lo que va definiendo un área disponible cada vez mayor. Permite el agregado de una segunda especie para realizar estudios interespecíficos.

Los diseños *dialélicos* permiten combinar individuos de varias especies en un estudio donde se determina la interacción entre todos los pares posibles. Permite analizar adecuadamente la competencia tanto intra como interespecífica.

Los experimentos ***sistemáticos*** permiten variar la densidad relativa (proporción) y total de los componentes y de esa manera evaluar el efecto de las distancias de ambos componentes en las monoculturas y en las mezclas. En este caso se pueden utilizar dos diseños, series de adición y los experimentos *factoriales.* Los primeros consisten en la combinación de varias series de reemplazo sobre un rango de densidades totales y los segundos son una combinación de experimentos aditivos con diferentes densidades totales.

2.2. Indices de habilidad competitiva

El estudio de la habilidad competitiva puede estar basado tanto en la producción en grano ó biomasa aérea total ó por planta. Se han propuesto diferentes índices tales como la *producción relativa,* índice de *agresividad* (Mc Gilchrist & Trenbath, 1971), de *hacinamiento* (de Wit, 1960), *balance competitivo* (Wilson, 1989), entre otros. También puede ser estimada por medio de diagramas bivariados (Snaydon & Satorre, 1989) ó por medio de modelos de regresión (Spitters, 1983).

3. Aplicación de la habilidad competitiva en los sistemas productivos

La variación hallada en el comportamiento de los ensayos de habilidad competitiva para los distintos cultivos es un aspecto que no debe soslayarse. A medida que el conocimiento sobre esta alternativa ha ido incrementándose, se comenzó a plantear la incertidumbre sobre la aplicabilidad de la misma y la posibilidad de generalizar los resultados obtenidos (Cousens & Mokhtari, 1998). Estos cuestionamientos se han centrado primordialmente tanto en la variación entre distintos localidades, como entre las distintas especies evaluadas.

Estudios que evaluaron 17 variedades de trigo en 4 localidades de Australia en dos años consecutivos, hallaron una correlación muy baja para la habilidad competitiva (Cousens & Mokhtari, 1998). También se ha observado una mejor correlación entre distintos años para la habilidad supresiva que para la tolerancia a la competencia. Por ejemplo, se han encontrado distintas características de tolerancia a la competencia en 7 variedades de trigo en competencia con *Aegilops cylindrica* de acuerdo a como variaban las condiciones ambientales de los años de ensayos (Ogg & Seefeldt, 1999).

En un estudio llevado a cabo en Argentina con 3 variedades de trigo y en competencia con 3 densidades de *Lolium multiflorum* se encontró variación en los cultivares estudiados en los 2 años evaluados, tanto en tolerancia a la competencia como en la habi-

lidad supresiva (Acciaresi *et al.*, 2000). Si bien se observó cierta asociación entre la altura de la variedad, la producción de biomasa y la agresividad, estas características pudieron estar asociadas al tipo de maleza evaluado.

La naturaleza de la competencia, la disponibilidad de recursos, las diferencias en el momento de emergencia y de ciclo entre el cultivo y la maleza y la cantidad de especies de malezas asociadas a la técnica de cultivo, juegan un papel central en las relaciones cultivo-maleza. Así, por ejemplo el cultivo de arroz, inundado gran parte de su ciclo, crea una situación donde la competencia por el agua no existe, estableciéndose competencia por la luz y por nutrientes entre las especies adaptadas a ese medio. La cantidad de especies de malezas está restringida, al igual que el tiempo de emergencia, al período que va desde la siembra a la inundación. En ésta situación la complementación de prácticas adecuadas de manejo del cultivo con variedades de mayor habilidad competitiva puede resultar de gran utilidad.

Otro aspecto que debería ser tenido en cuenta es la persistencia de las características que brindan habilidad competitiva a una determinada variedad. Estudios que evaluaron la competencia entre trigo y *Chenopodium album* y entre trigo y *Avena sativa* y *Brassica juncea* (éstas dos últimas como modelo de malezas) hallaron una constancia en el ordenamiento de las variedades más competitivas para las distintas especies de malezas. Este comportamiento puede deberse a la escasa complementariedad de recursos que existiría entre las variedades y las malezas, es decir tanto el cultivo como las malezas, estarían utilizando recursos limitantes ó de un mismo estrato edáfico, con lo cual disminuiría la posibilidad de hallar interacciones maleza x habilidad competitiva (Satorre & Guglielmini, 1990). Pero así como existen autores que establecen la constancia de las características importantes en conferir habilidad competitiva frente a distintas malezas, otros autores postulan lo contrario, estableciendo que la habilidad competitiva de un cultivo es dependiente de la especie de maleza acompañante (Wilson, 1989, Karim *et al.*, 1997).

En el desarrollo de la habilidad competitiva como herramienta a ser incorporada dentro de un manejo integrado de malezas (MIM), la naturaleza de la población de malezas (monoespecífica ó poliespecífica) que compiten con el cultivo es un aspecto que no puede soslayarse. Así, un estudio que incorporaba trigo en competencia con *Papaver rhoeas, Galium aparine* y *Matricaria perforata* estableció que la merma de rendimiento del cultivo estuvo asociada a efectos aditivos de las tres especies en las primeras etapas del cultivo, mientras que en madurez, la caída en el rendimiento fue mayor que la suma de los efectos de cada especie, indicando la presencia de interacciones entre las malezas estudiadas (Wright *et al.*, 1997). Este comportamiento, según los autores puede modificar la expresión de la habilidad competitiva de un cultivo según la especie de maleza incorporada al proceso competitivo. De este modo, aquellos trabajos que establecían la constancia en el ordenamiento de los genotipos de trigo en competencia con *Avena sativa* y *Brassica juncea,* reconocen que la extrapolación a situaciones de cultivo infestado con poblaciones naturales puede resultar complicada y poco útil (Huel & Hucl, 1996).

Dentro de los sistemas de producción de bajos insumos y agricultura orgánica, se ha asignado una gran importancia al posible uso de la habilidad competitiva, pero se han realizado objeciones a su empleo. Así, Cosser *et al.*, (1997) establecieron que una variedad tradicional de trigo (Maris Widgeon) registra el mismo ó un mayor rendimiento que dos variedades de germoplasma moderno (Hereward & Génesis), ante una densidad de malezas elevada, pudiendo de este modo tolerar la competencia. No obstante Maris Widgeon no presentó una buena habilidad supresiva, alentando en algunas situaciones el desarrollo de *Veronica sp.,* y registrando un incremento en el aporte hacia el banco de semillas de *Sinapis arvensis.* Doll (1997) encontró una mayor producción de biomasa aérea de malezas en un sistema de producción orgánico de cebada respecto de un sistema de producción convencional (con empleo de herbicidas), hallando una correlación negativa entre la producción en grano del cultivo y la biomasa de maleza. De este modo establece que la existencia de esta relación negativa implicará un mayor crecimiento de las malezas y un mayor daño en sistemas de bajos insumos con moderada producción que en sistemas de producción con alto empleo de insumos (herbicidas y fertilizantes).

Para determinar la viabilidad de la implementación de variedades más competitivas frente a las malezas como herramienta en un manejo integrado de malezas, será necesario incorporar el estudio de poblaciones naturales multiespecíficas ó el empleo de varias especies vegetales que actúen como modelo de maleza (*Avena sativa, Brassica napus, Sorghum bicolor,* entre otras). Asimismo se deberá contemplar la variación de la densidad del cultivo como elemento adicional interviniente. Finalmente, dado el papel que juega el agregado de fertilizante, no deberá dejarse de incorporar a este análisis la fertilización, tanto en dosis como en momentos de aplicación.

Teniendo en cuenta que el empleo de variedades competitivas lleva implícito el objetivo de disminuir el impacto ambiental causado por los herbicidas, la incorporación de los mismos al estudio será un paso ineludible.

4. Posibilidades de uso de la habilidad competitiva en el mejoramiento genético vegetal

De acuerdo a los estudios de habilidad competitiva analizados, su incorporación como objetivo dentro de un programa de mejoramiento genético no surge como un proceso sencillo.

Dicha incorporación debe determinar claramente aquellas características que brinden mayor habilidad competitiva a un genotipo. A partir de allí, será necesario establecer la heredabilidad de dichos caracteres a fin de realizar los cruzamientos que permitan la incorporación de los mismos en los materiales de interés agronómico.

Los procedimientos para seleccionar genotipos con mayor habilidad competitiva pueden iniciarse por medio de un proceso de selección indirecta en donde se elijan genotipos a

partir de atributos asociados a la habilidad competitiva. Este procedimiento puede conducirse en etapas iniciales del programa de mejoramiento y realizarse en ausencia de malezas. En esta etapa los modelos de simulación de competencia interespecífica pueden ser una herramienta para ayudar a definir los genotipos de mayor habilidad competitiva (Bastiaans *et al.*,1997). A partir de esta selección indirecta, será necesario incorporar una metodología de selección directa, que permita poner de manifiesto cierto comportamiento competitivo de los genotipos previo a su liberación como variedad. Una alternativa sería utilizar ensayos comparativos de competencia con materiales a partir de F_4 ó F_5 (87,5% ó 93,75% de homocigosis, respectivamente) con una maleza ó un cultivo que actúe como maleza modelo. Así, para determinada subregión ecológica se podrán evaluar los genotipos promisorios de acuerdo a cierta habilidad de competencia respecto a los ecotipos de maleza predominantes, pudiéndose descartar aquellos que presenten una baja habilidad competitiva (ya sea en tolerancia a la competencia como en habilidad supresiva). Asimismo, se podrán definir modelos de maleza, tales como "modelo gramínea" ó "modelo latifoliada". Para ejercer una competencia uniforme, se podrán utilizar cultivos que actúen como malezas, tal el caso de *Avena sativa* ó *Sorghum bicolor* como modelo de maleza gramínea ó *Brassica napus* como modelo de maleza latifoliada, como se estableció previamente. La ventaja que presenta el empleo de cultivos como maleza modelo es la uniformidad de competencia durante el ciclo del cultivo y la variabilidad que presentan los distintos cultivares tanto en fenología como características morfofisiológicas. De este modo se pueden obtener distintas expresiones del proceso competitivo, lo que brindará un mejor conocimiento del comportamiento de cada genotipo a la competencia.

De acuerdo a la variabilidad observada por la habilidad competitiva en los distintos estudios, se deberá realizar ensayos en distintas situaciones ambientales a fin de cuantificar la magnitud de la interacción genotipo-ambiente. Sólo de este modo se podrán establecer predicciones confiables del comportamiento competitivo de las distintas líneas incluidas dentro de un programa de mejoramiento genético.

De este modo, con el empleo de una metodología que permita realizar una selección de los genotipos en estudio se podrá posteriormente establecer una relación entre el comportamiento en el programa de mejoramiento y en producción comercial, estableciendo el grado de confiabilidad de la misma. La obtención de un ajuste adecuado permitirá contar con una metodología que brinde un conocimiento "a priori" de la habilidad competitiva de los genotipos.

5. Conclusiones

El desarrollo de esta alternativa debe contemplar la posibilidad de compatibilizar un mayor efecto competitivo del cultivo hacia las malezas con la obtención de rendimientos adecuados. Ello implica un detallado conocimiento del proceso competitivo cultivo-maleza.

El uso de habilidad competitiva en una agricultura de bajos insumos no puede dejar de evaluarse sin la incorporación de herbicidas y fertilizantes a distintos niveles de aplicación, la incorporación de poblaciones naturales de malezas al estudio como así también la cuantificación de la interacción genotipo-ambiente, dado la influencia que ejerce sobre el proceso competitivo.

Dada la simplicidad de su implementación y la posibilidad de cubrir amplias áreas con un genotipo más competitivo, la habilidad competitiva surge como una herramienta alternativa para sistemas agrícolas extensivos con bajo uso de insumos. Asimismo, en regiones en donde exista el predominio de una determinada especie de maleza su empleo puede ser factible al desarrollar genotipos con características competitivas hacia dicha especie.

Por otra parte, la factibilidad de empleo de la habilidad competitiva estará asociada al desarrollo conjunto del resto de las alternativas involucradas dentro de un manejo integrado de malezas. De esta manera se podrá determinar la utilidad de la habilidad competitiva dentro de un manejo integrado de malezas.

Acciaresi HA, HO Chidichimo & SJ Sarandón (2000) Competitive ability of Argentinean wheat cultivars against Italian ryegrass *(Lolium multiflorum).* Proceedings of III International Weed Science Congress. Foz do Iguassu, Brazil. Pag: 21-22. Published by IWSS. ISBN 1-891276-16-6.

Bastiaans L, MJ Kropff, N Kempuchetty, A Rajan & TR Migo (1997) Can simulation models help design rice cultivars that are more competitive against weeds? Field Crops Research 51: 101-111.

Bezus R (2000) Competencia de tres genotipos de arroz con el capin *(Echinochloa crus-galli* (L) Beauv.). Resumos. XXII Congresso Brasileiro da Ciencia das Plantas Daninhas, Foz do Iguassu/PR, Brazil. p5.

Blackshaw RE (1994) Differential competitive ability of winter wheat cultivars against downy brome. Agron J. 86:649-654.

Burnside OC (1972) Tolerance of cultivars to weed competition and herbicides. Weed Sci 20: 294-297.

Carlson HL & JE Hill (1985) Wild oat (*Avena fatua* L.) competition with spring wheat: plant density effects. Weed Sci. 33: 176-181.

Champion GT, RJ Froud Williams & JM Holland (1998) Interactions between wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar, row spacing and density and the effect on weed suppression and crop yield. Ann. Appl. Biol. 133: 443-453.

Christensen S (1995) Weed suppression ability of spring barley varieties. Weed Res. 35: 241-247.

Cosser ND, MJ Gooding, AJ Thompson & RJ Froud Williams (1997) Competitive ability and tolerance of organically grown wheat cultivars to natural weed infestations. Ann. Appl. Biol. 130: 523-535.

Cousens RD & S Mokhtari (1998) Seasonal and site variability in the tolerance of wheat cultivars to interference from *Lolium rigidum.* Weed Res. 38: 301-307.

Cudney DW, LS Jordan & AE Hall (1991) Effect of wild oat (*Avena fatua* L.) infestations on light interception and growth rate of wheat (*Triticum aestivum* L.). Weed Sci. 39: 175-179.

Doll H (1997). The ability of barley to compete with weeds. Biol. Agric. Hortic. 14: 43-51.

de Wit CT (1960) On competition. Verslagen Van Landbouwkundige Onderzoekingen. 66: 8. 82 pp.

Fischer AJ, H Ramirez & J Lozano (1997) Suppression of junglerice *(Echinochloa colona* (L.) Link) by irrigated rice cultivars in Latin America. Agron J. 89: 516-521.

Fofana B, T Koupeur, MP Jones & DE Johnson (1995) The development of rice varieties competitive with weeds. Proceedings Brighton Crop Protection Conference. Brighton. pp 187-192.

Garrity DP, M Movillon & K Moody (1992) Differential weed suppression ability in upland rice cultivars. Agron J. 84: 586-591.

Guneyli E, OC Burnside & PT Nordquist (1969) Influence of seedling characteristic on weed competitive ability of Sorghum hybrids and inbred lines. Crop Sci. 9: 713-716.

Huel DG & P Hucl (1996) Genotypic variation for competitive ability in spring wheat. Plant Breeding 115: 325-329.

Johnson DE, M Dingkuhn, MP Jones & MC Mahamane (1998) The influence of rice plant type on the effect of weed competition on *Oryza sativa* and *Oryza glaberrima*. Weed Research 38: 207-216.

Karim SMR, RE Naylor & GP Whytock (1997) Aggressivity of wheat cultivars. Proceedings of Brighton Crop Protection Conference. Weeds. 665-666. British Crop Protection Council. Farnham.

Kawano K, H Gonzalez & M Lucena (1974) Intraspecific competition, competition with weeds, and spacing response in rice. Crop Sci. 14: 841-844.

Lindquist JL & DA Mortensen (1998) Tolerance and velvetleaf *(Abutilon theophrasti)* suppresive ability of two old and two modern corn *(Zea mays)* hybrids. Weed Sci. 46: 569-574.

Lyon DJ, Miller SD & Wicks GA (1996) The future of herbicide in weed control systems of the great plains. J Prod. Agric. 9 (2): 209-215.

Mc Gilchrist CA & BR Trenbath (1971) A revised analysis of plant competition experiments. Biometrics. 27: 659-671.

McWhorter CG & EE Hartwig (1972) Competition of johnsongrass and cocklebur with six soybean varieties. Weed Sci. 20: 56-59.

McWhorter CG & WL Barrentine (1975) Cocklebur control in soybeans as affected by cultivars seeding rates, and methods of weed control. Weed Sci. 23-5: 386-390.

Mohler ChL (1996) Ecological bases for the cultural control of annual weeds. J Prod Agric 9 (4): 468-474.

Moody K (1979) Exploiting cultivar differences to improve weed control. International Rice Research Conference. Int. Rice Res. Inst. Los Baños, Philippines. 1-8.

Ogg Jr. AG & SS Seefeldt (1999) Characterizing traits that enhance the competitiveness of winter wheat *(Triticum aestivum)* against jointed goatgrass *(Aegilops cylindrica)*. Weed Sci. 47: 74-80.

Satorre EH & AC Guglielmini (1990) Competencia entre trigo (*Triticum aestivum* L) y malezas. I: el comportamiento de cultivares modernos de trigo. Actas del II congreso Nacional de trigo. Pergamino. Argentina. Tomo IV: 77-87.

Satorre EH & RW Snaydon (1992) A comparison of root and shoot competition between spring cereals and Avena fatua L. Weed Res. 32: 45-55.

Satorre EH (1988) The competitive ability of spring cereals. Ph D. Thesis. University of Reading. Pp: 4-12

Smith, Jr.RJ (1974) Competition of barnyardgrass with rice cultivars. Weed Sci 22-5: 423-426.

Snaydon RW & EH Satorre (1989) Bivariate diagrams for plant competition data: modifications and interpretation. J. Appl. Ecol. 26: 1043-1057.

Spitters CJT (1983) An alternative approach to the analysis of mixed cropping experiment. I: Estimation of competition effects. Neth. J. Agric. Sci. 31: 1-11.

Wilson BJ (1989) Predicting Cereal yield loss from weeds. Long Ashton Research Station. Bristol. 7 pp.

Wilson RG, GA Wicks & CR Fenster (1980) Weed control in field beans *(Phaseolus vulgaris)* in western Nebraska. Agron J. 85:840-843.

Wortmann ChS (1993) Contribution of bean morphological characteristics to weed suppression. Agron J. 85:840-843.

Wright KJ, GP Seavers & BJ Wilson (1997) Competitive effects of multiple weed species on weed biomass and wheat yield. The 1997 Brighton Crop Protection Conference-Weeds. British Crop Protection Council. 6B-4 Section.

AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable, SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, Cap 20: 393-414 (2002)

El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas

Santiago J. Sarandón

1. La sustentabilidad: de concepto abstracto a criterio para la toma de decisiones

Actualmente ya no se discute la necesidad de volcar esfuerzos en pos de una agricultura sustentable que permita "satisfacer las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la posibilidad de satisfacción de las futuras generaciones". Sin embargo, en la práctica, esto se ha quedado aún en una etapa declarativa, y no se ha hecho operativo el término. Una de las razones de esta situación es la dificultad de traducir los aspectos filosóficos e ideológicos de la sustentabilidad en la capacidad de tomar decisiones al respecto (Bejarano Avila, 1998). Las razones de esto son muy variadas, pero parte de la dificultad radica en los siguientes aspectos (Sarandón, 1998):

- La ambigüedad y poca funcionalidad del concepto. No sugiere cómo hacerlo.
- La característica multidimensional (productiva, ecológica, cultural, temporal, social y económica) de la sustentabilidad.
- La dificultad de percibir claramente el problema desde el enfoque disciplinario o reduccionista predominante en el ámbito científico-académico.
- La ausencia de parámetros comunes de evaluación, junto con el uso de herramientas y metodologías inadecuadas.
- La falta de valores objetivos que posibiliten la comparación entre diferentes variantes de un mismo sistema productivo y/o entre diferentes sistemas productivos.

En primer lugar, debemos aclarar que este desafío no es sencillo. Justamente, la sustentabilidad es uno de esos términos que deben su amplia aceptación, en parte, a su ambigüedad. Todos están de acuerdo en alcanzarla (en teoría), pero nadie sabe bien de qué se trata. Y, por lo tanto, no se pueden medir progresos, ni retrocesos (Sarandón, 2000). La definición más conocida, (WCED, 1987): "el desarrollo sustentable es aquél que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras", a pesar de su aceptación universal, poco aporta

con respecto a las herramientas o criterios necesarios para medir la sustentabilidad.

Por otra parte, la sustentabilidad es un concepto complejo en sí mismo porque pretende cumplir con varios objetivos en forma simultánea que involucran dimensiones productivas, ecológicas o ambientales, sociales, culturales, económicas y, fundamentalmente, temporales. A su vez, la evaluación de la sustentabilidad, se ve dificultada por el enfoque reduccionista que aún prevalece en los agrónomos y muchos científicos, lo que genera grandes dificultades para entender problemas complejos como éste, que requieren de un abordaje de forma holística y sistémica. Además, como señalan Kaufmann & Cleveland (1995), se requiere un abordaje multidisciplinario para medir un concepto interdisciplinario.

Para esta complejidad no existen parámetros ni criterios universales o comunes de evaluación. Tampoco han sido desarrolladas herramientas y/o metodologías apropiadas para ello. Por esta razón es que, en la actualidad, varias tecnologías, incluso contrapuestas, son promovidas como sustentables. Nadie puede refutar o afirmar tales aseveraciones, porque no se pueden medir. No hay un valor de sustentabilidad contra el cual comparar. Así, mientras por un lado quienes promueven la siembra directa consideran a esta tecnología como sinónimo de la sustentabilidad, hay quienes consideran que es todo lo contrario porque promueve un mayor uso de fertilizantes, herbicidas, insecticidas y, también fungicidas. Lo mismo ocurre con los cultivos transgénicos vs. los no transgénicos. Cómo no se sabe qué es la sustentabilidad, este tipo de polémica amenaza con seguir por mucho tiempo.

Para lograr avanzar, es necesario que la complejidad y la multidimensión de la sustentabilidad sean simplificadas en valores claros, objetivos y generales, conocidos como indicadores. El uso de los indicadores deberá permitir comprender perfectamente, sin ambigüedades, los puntos críticos de la sustentabilidad de un agroecosistema. Permitirá, a su vez, percibir tendencias que, de otra manera, pasarían desapercibidas y tomar decisiones al respecto. Algunas aplicaciones del desarrollo de indicadores de sustentabilidad en el área agropecuaria serían:

- Decidir la conveniencia o no de la adopción de diferentes propuestas o paquetes tecnológicos.
- Evaluar la introducción de un nuevo cultivo o el desplazamiento de un cultivo de una zona a otra.
- Comparar diferentes sistemas de producción. (orgánico vs. convencional, al aire libre vs. bajo cubierta)
- Evaluar el riesgo de un determinado sistema productivo en el tiempo.

Mejorar la capacidad de encarar problemas de este tipo se hace mucho más necesario para quienes permanentemente deben tomar decisiones concernientes a las actividades agropecuarias. En la actualidad, existe una gran velocidad en los cambios de las prác-

ticas agropecuarias y en la incorporación de nuevas tecnologías. Se necesitan, por lo tanto, criterios y metodologías que permitan evaluar el impacto que estas prácticas o tecnologías tendrán sobre la sustentabilidad de los agroecosistemas tanto a nivel de los agricultores, como de una región determinada. Sin embargo, los científicos y técnicos raras veces pueden proveer de información confiable y comprensible a los políticos, planificadores y público en general acerca de los beneficios, costos e impactos de procesos de desarrollo (Winograd *et al.,* 1998).

Los requerimientos de la investigación científica requieren ir más allá de los conceptos holísticos de la sustentabilidad, hacia otros más específicos y susceptibles de medición (Izac & Swift, 1994). La transformación del concepto abstracto de la sustentabilidad a un término operativo es esencial para la planificación a mediano plazo de cualquier actividad. El objetivo de este capítulo es plantear la necesidad del desarrollo de indicadores de sustentabilidad y discutir algunos criterios y metodología necesarios para su construcción y uso en la evaluación de agroecosistemas.

2. Evaluando la sustentabilidad

En los últimos años, ha surgido un marcado interés por investigar sobre aspectos relacionados con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (Bockstaller *et al.*, 1997; Cook, 1996; Goodland & Daly, 1996; Goodland, 1997, 1998; Hansen & Jones, 1996; Izac & Swift, 1994; Lewandowski *et al.*, 1999; Meyer *et al.*, 1993; Ruttan, 1994, 1996; Smith & Thwaites, 1998). Sin embargo, la mayoría de las publicaciones sobre el tema, no han superado aún la etapa enunciativa o enumerativa de las cualidades que debería tener un agroecosistema para lograr ser sustentable y pocos han intentado medir o proponer metodologías o marcos para evaluar la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios (Astier & Masera, 1996; De Camino & Muller, 1993; Gomez *et al.*, 1996; Mitchel *et al.*, 1996; Sarandón, 1997, 1998; Smyth & Dumanski, 1995 y Torquebiau, 1992).

Uno de los problemas que surgen cuando se intenta evaluar o medir la sustentabilidad, es la confusión respecto a qué es exactamente lo que se quiere evaluar. Uno de los aspectos más difíciles de manejar es, tal vez el componente temporal. Este es intrínseco a la definición de sustentabilidad y no puede separarse de ella, ya que, por definición, involucra a las futuras generaciones. Sin embargo, esto no está siempre claro en la bibliografía sobre el tema. De hecho, unos de los pocos autores que abordan el tema del tiempo explícitamente son Smyth & Dumansky (1995) que establecen una escala temporal de sustentabilidad e insustentabilidad, fijando un límite superior de 25 años.

No existe una sola forma de encarar la evaluación de la sustentabilidad ya que esta depende del objetivo o el tipo de pregunta que se busca responder. Esto es fundamental y es necesario tenerlo en claro para elegir la metodología más apropiada y no cometer errores que dificultan enormemente la obtención de resultados concretos. Muchos inten-

tos de evaluar la sustentabilidad, tropiezan de hecho con este problema; no pasan de una descripción metodológica, a veces un poco confusa. Pero no consiguen aportar resultados concretos.

En la evaluación de la sustentabilidad hay dos posibilidades: una es la evaluación de la sustentabilidad *per se* y la otra es la evaluación comparativa. La elección de una u otra posibilidad depende del objetivo planteado, y tiene importantes consecuencias metodológicas.

2.1. Evaluación de la sustentabilidad *per se*

Es la más difícil de realizar, ya que intenta evaluar la sustentabilidad por sí misma. Generalmente esta evaluación busca contestar preguntas del tipo: ¿Es sustentable la producción de tomates en invernáculo? ¿Es sustentable la producción orgánica? No hay puntos de comparación, por lo tanto, la respuesta no puede ser *esto es más o menos sustentable que aquello.* Exige una respuesta categórica: sí o no y una definición de un valor absoluto de sustentabilidad. Aunque quizás este tipo de pregunta no tiene mucho sentido, de hecho es bastante común. Aquí el factor tiempo es esencial, porque se transforma en el punto de comparación. Se compara un sistema consigo mismo en el tiempo, por lo que tenemos que tener en claro la escala temporal a usar: *¿Por cuánto tiempo queremos sustentar el sistema?* Aunque en general uno se ve tentado a contestar que por siempre (lo que, por otra parte no es tan errado) esta respuesta no sirve a fines prácticos, por lo que el horizonte temporal debe ser más acotado y posible de evaluarse. Smyth & Dumansky (1995) establecen que se considera sustentable a corto o largo plazo entre 7 y 25 años. Por debajo de esta cifra se consideran diferentes grados de insustentabilidad, llamando altamente inestable si el lapso es menor de 2 años. Aunque es muy difícil establecer un tiempo determinado, se puede considerar que, si en la definición de sustentabilidad se habla de satisfacer las necesidades de las futuras generaciones, el horizonte temporal no debería ser menor a una generación, es decir 25 años. Si el plazo es menor no podemos entonces hablar de sustentabilidad.

Es importante tener presente que no tiene mucho sentido preguntar tan categóricamente si un sistema o tecnología es sustentable o no, ya que el tipo de respuesta (si o no) no aporta información muy valiosa. No tiene tanta importancia saber si el sistema es sustentable o no, sino cuáles son los puntos débiles o riesgos a la sustentabilidad.

2.2. Evaluación comparativa

Es la más común y sencilla. Las preguntas son del tipo: ¿Cuál de estos 2 sistemas, o tecnologías es más sustentable? ¿Es más sustentable la siembra directa que la labranza convencional? ¿La horticultura en invernáculo que al aire libre? ¿El cultivo de soja o el de maíz? La respuesta esperada es del tipo: *esto es más o menos sustentable que aquello.* Ya no importa el valor absoluto (que por otra parte, resulta muy difícil de definir). Sólo se

busca saber cual de las tecnologías o sistemas a comparar es mejor que el otro en este aspecto. En este caso, hay 2 situaciones posibles:

a) Comparación retrospectiva ¿Qué pasó?
b) Comparación prospectiva ¿Qué va a pasar?

2.2.1. Comparación retrospectiva:

La comparación retrospectiva es bastante usada aunque con graves errores. Responde al tipo de pregunta: ¿Cuál sistema de cultivo o tipo de labranza (siembra directa o convencional) ha sido mejor? ¿Cuál de estos productores ha manejado el sistema de forma más sustentable? ¿Es la producción orgánica más sustentable que la convencional? Muchas veces la pregunta está mal formulada o no es del todo clara y conduce a muchos errores metodológicos. Por ejemplo, la evaluación *in situ* de algunas características o propiedades del suelo, fauna, flora, etc. se ha considerado como indicadores de la sustentabilidad de estos sistemas. Por ejemplo el % de materia orgánica en un momento determinado se usa como un indicador de sustentabilidad: a mayor valor, más sustentable. Sin embargo, esto no es siempre válido. Se confunde evaluación o indicadores de calidad con sustentabilidad. Que el valor de materia orgánica en un sistema sea del 2% y en el otro del 3% no indica a priori, absolutamente nada, más que el primer lugar tiene un suelo peor que el otro. Para que esta forma de evaluación sea correcta deben cumplirse ciertas condiciones:

• Conocer el estado inicial o de referencia. Debemos saber si el sistema se degradó o mejoró. Muchas veces esto no es posible. Puede inferirse (con ciertos riesgos).
• Que los cambios en los valores de los indicadores puedan ser atribuidos exclusivamente a lo que se está evaluando (Por Ej. diferentes sistemas de manejo)

Conocer el estado inicial de ambos sistemas es fundamental. Tener datos del tiempo cero. Sólo así sabremos si el uso o aplicación de tales tecnologías o sistemas de producción mejoró o degradó la calidad del sitio. Por ejemplo, Hartemink (1998) utilizan algunas propiedades físicas del suelo como indicadores de manejo sustentable de caña de azúcar en Nueva Guinea, basándose en datos desde 1979 a 1994. En este caso, determinaciones como el pH, contenido en carbono orgánico o el nivel de P disponible tomadas en 1996, eran contrastadas con los valores originales para evaluar el efecto del cultivo de la caña de azúcar sobre estas variables. Según estos autores, los cambios en las propiedades químicas y físicas del suelo indicaron que el sistema de manejo no estaba sosteniendo la base de los recursos para el cultivo de la caña en el largo plazo.

En muchos casos, estos datos no existen, por lo que no es posible la comparación. Existen algunas formas de inferir esto, aunque deben usarse con sumo cuidado. Por ejemplo, se puede comparar la materia orgánica que existe debajo de lugares que no han sido disturbados (debajo de los alambrados) con la de los lugares donde se ha hecho un

uso más intensivo del suelo. La diferencia entre ambos (positiva o negativa) puede dar una idea del efecto del sistema de producción sobre este recurso.

Otra posibilidad es que en la zona existan datos históricos, de por ejemplo el nivel de nutrientes del suelo, o los % de MO de determinada zona. La comparación de los datos y su tendencia puede dar una idea de los cambios positivos o negativos que han ocurrido. Y, por lo tanto, determinar que los sistemas en el pasado eran más sustentables que ahora o que el riesgo a perder la sustentabilidad es mayor ahora que antes.

Es importante tener en cuenta que los cambios que se evalúen puedan atribuirse sin dudas al efecto del sistema que se está evaluando y no estén enmascarados por otros factores. Por ejemplo, si tenemos los datos de hace 20 años, y en la actualidad se está realizando determinado sistema de manejo, debemos ser muy cuidadosos al concluir que los valores actuales de ciertos indicadores son atribuibles al efecto de este sistema. Aunque en la actualidad el % de materia orgánica sea menor que en el momento original, hace 10 años podría haber sido peor, y el actual sistema de manejo en realidad está mejorando este valor y no empeorándolo como podría deducirse a primera vista. No es el indicador en sí el que está equivocado, sino su interpretación.

Si se cumplen estas condiciones, entonces esta comparación es posible y puede aportar datos interesantes.

2.2.2. Evaluación prospectiva

Es quizá, la pregunta más interesante y de más utilidad. Y quizás también la más necesaria para la planificación. Ante la posibilidad de un cambio tecnológico: La nueva tecnología a adoptar ¿es más o menos sostenible que la que desplaza? Ej. Plantas transgénicas, siembra directa, etc. Este tipo de análisis resulta fundamental. Si realmente el concepto de sustentabilidad se hiciese operativo, cualquier cambio tecnológico debería pasar por el filtro de la sustentabilidad. Es decir, esta tecnología que se incorpora en reemplazo de aquélla otra, o este cultivo que se propone en reemplazo de este otro, ¿es más sustentable que el anterior? Si la respuesta es afirmativa, se adopta o promueve su adopción. Si es negativa se prohíbe o desalienta según sea el caso. Esta debería ser la norma, pero, lamentablemente no es así y la adopción de tecnologías se hace por intereses comerciales, de corto plazo y sin tener en cuenta el aspecto ambiental. Parte de las razones de esto es la dificultad de este tipo de evaluación: es una pregunta a futuro y requiere, por lo tanto, una capacidad de predicción. Hay 2 maneras de encararla.

a) Monitoreo en el tiempo.
b) Evaluación de tendencias o predicción de la sustentabilidad.

a) Monitoreo en el tiempo: Es un buen método y bastante preciso, si se eligen los indicadores adecuados. Tiene la desventaja de que requiere mucho tiempo para tener una respuesta. Este método se basa en la elección de una serie de parámetros que se considera

son indicadores de sustentabilidad del sistema. Se miden en el tiempo actual y luego se van evaluando a intervalos predeterminados. El valor de estos parámetros, respecto del valor original permite evaluar o tener una idea de lo que ocurre. Como se ve, es un método que brinda resultados confiables recién después de varios años. A veces sirve para comparar sistemas de manejo, como propone el Método MESMIS (Astier & Masera, 1996), que permite comparar un manejo convencional de una finca, con uno alternativo que se propone como mejora del anterior, aunque, según los autores, para obtener resultados confiables hacen falta varios años (5-10). Hasta que se vea una tendencia clara.

Es de destacar que aunque este método es bastante preciso, basa su éxito en la elección de los indicadores correctos. Cosa que, lamentablemente, no siempre sucede.

b) Evaluación de tendencias o predicción de la sustentabilidad. Este método es un poco menos preciso y más complicado, pero mucho más útil porque permite, una vez detectados los puntos críticos, proponer medidas correctivas. Consiste en seleccionar los indicadores adecuados, que permitan predecir tendencias a futuro.

Una forma de hacer esto es con una serie histórica de datos y su proyección a futuro. Si tenemos varios datos y una clara tendencia, con un buen ajuste a alguna función como una recta, podemos evaluar que, de seguir esta tendencia a futuro, existen posibilidades de llegar a valores críticos. Un ejemplo de esto se presenta en el capítulo 24 de este libro con la disminución de la superficie de tierras que se mantienen sin cultivo en la localidad de Tres Arroyos.

Pero no siempre existen series de datos. Por lo que el tema se complica. En este caso, es importante que los indicadores tengan incorporados el factor temporal. Este es el caso del balance de nutrientes anual, es decir la diferencia de lo extraído y lo suministrado al sistema. Un valor negativo indica que, de seguir así, se va a agotar el mismo, lo que dependerá de la cantidad de este nutriente que tengamos como stock en nuestro sistema.

Otra forma es evaluar el efecto del sistema de manejo sobre algún componente del sistema que consideramos esencial para su buen funcionamiento. En este caso se han propuesto el esquema presión-estado-respuesta. *Las variables de estado:* se considerarán como tal a aquellas que definen o aportan información sobre la situación actual. *Las variables de manejo o de presión:* se considerará como tales a aquellas relacionadas al funcionamiento del sistema y que indican el efecto de distintas prácticas de manejo o de uso del suelo, sobre las variables de estado. Las variables de respuesta indican que se está haciendo en ese sentido. Por ejemplo, el % de materia orgánica del suelo. Los indicadores de presión buscan evaluar que es lo que originó esto, por ejemplo un exceso de laboreo. Y las variables de repuesta se refieren a que es lo que se está haciendo para remediar este problema. Por ejemplo cambio por siembra directa o una rotación determinada o incorporación de abonos verdes.

Por ejemplo el laboreo del suelo será considerado un aspecto crítico en suelos someros, con poca materia orgánica y con ciertos valores de pendiente. Lo mismo puede

decirse sobre el mantenimiento de la cobertura vegetal. Puede usarse como un indicador del efecto del manejo sobre un componente importante que es la conservación del suelo.

Independientemente del método o forma de evaluar la sustentabilidad, el éxito de este procedimiento está basado, fundamentalmente, en la elección correcta de los indicadores.

3. Los indicadores: un requisito para evaluar la sustentabilidad

La complejidad y la multidimensión de la sustentabilidad hacen necesario volcar aspectos de naturaleza compleja en valores claros, objetivos y generales, llamados indicadores.

3.1. ¿Qué es un indicador?

Es importante entender qué es exactamente un indicador. Este es una variable, seleccionada y cuantificada que nos permite ver una tendencia que de otra forma no es fácilmente detectable. Un ejemplo claro de esto, y comprensible por mucha gente, es el paralelismo con el tablero de los automóviles. Quienes los construyeron consideraron necesario hacer saber a los conductores algunos datos importantes que hacen al funcionamiento del mismo. Independientemente del modelo y tipo de auto hay varios indicadores que los constructores se cuidaron muy bien de poner delante de nuestra vista en el tablero del automóvil. El medidor de combustible, el nivel de aceite, la temperatura del motor, son algunos que están casi siempre presentes. Ý son fáciles de interpretar, aún por quienes no conocen de mecánica. Y nos dicen inmediatamente que debemos hacer cuando uno de estos alcanza cierto umbral. Cuando el nivel de combustible baja de cierto nivel, todos sabemos que debemos pensar en cargarlo de inmediato. Caso contrario, el auto dejará de funcionar. Nos están marcando una tendencia a futuro. Lo mismo sucede con el nivel de aceite. Aunque no comprendamos exactamente donde está el aceite, qué piezas baña, qué protege y cuál es exactamente su función, somos conscientes de que, si la aguja desciende de cierto nivel (zona roja) o se enciende la luz, debemos detener el motor o reponer el nivel de aceite de inmediato. Caso contrario el automóvil puede dejar de cumplir su función correctamente. Estos son buenos indicadores: brindan información importante y esencial para el funcionamiento del sistema, son predictivos, son objetivos y son interpretados fácil y correctamente por cualquier observador.

Lamentablemente, no disponemos de este tipo de indicadores para la evaluación de la sustentabilidad de los agroecosistemas. No tenemos un tablero de control de los sistemas agropecuarios, no hay instrumental, relojes ni luces que se prenden. Por lo tanto, debemos desarrollarlos de la mejor manera posible. Pero para ello es necesario tener en cuenta algunas características que estos tienen que cumplir.

3.2. Características de los indicadores

Debido a la complejidad propia de la sustentabilidad, lo que se pretende con los indicadores es una simplificación de la realidad. Esto implica perder cierto grado de información, pero ganar en claridad. Muchas veces, la suma de enormes cantidades de datos, o de censos extremadamente minuciosos, no sirve para saber la tendencia. Esto debe ser evitado. Se busca claridad, a costa de cantidad de información.

Para el desarrollo de indicadores hay que tener presente algunas características que estos deberían reunir (Tabla 1)

Tabla 1

Algunas características deseables que debe reunir los indicadores de sustentabilidad

- Estar estrechamente relacionados con (o derivado de) algunos de los requisitos de la sustentabilidad.
- Ser adecuados al objetivo perseguido.
- Ser sensibles a un amplio rango de condiciones.
- Tener sensibilidad a los cambios en el tiempo.
- Presentar poca variabilidad natural durante el período de muestreo.
- Tener habilidad predictiva.
- Ser directos: a mayor valor más sustentables.
- Ser expresados en unidades equivalentes. Mediante transformaciones apropiadas. Escalas cualitativas.
- Ser de fácil recolección y uso y confiables.
- No ser sesgados (ser independientes del observador o recolector)
- Ser sencillos de interpretar y no ambigüos.
- Presentar la posibilidad de determinar valores umbrales
- Ser robustos e integradores (brindar y sintetizar buena información)
- De características universales pero adaptados a cada condición en particular.

3.2.1. Estar estrechamente vinculados con la sustentabilidad

Es fundamental, para que los indicadores no sean sólo una colección de datos inconexos, que estos estén estrechamente relacionados con algunos de los requisitos de la sustentabilidad. Algunos trabajos proponen una serie de indicadores, listados de datos o variables que pueden medirse, pero que no aportan demasiado. Aún cuando pudieran recogerse estos datos, difícilmente se pueda luego llegar a una respuesta sobre la sustentabilidad de estos sistemas.

Para evitar esto, todos los indicadores deben ser derivados de los atributos de la sustentabilidad previamente definidos. No puede haber ningún indicador que no haya sido derivado de uno de los requisitos de la sustentabilidad. Y viceversa: no puede haber algún requisito de la sustentabilidad que luego no se traduzca en un indicador. Si se considera, por ejemplo que una agricultura sustentable debe ser socialmente apropiada, entones deberá existir algún indicador que evalúe esto.

Independientemente de los diferentes lineamientos o bases conceptuales propuestos por De Camino & Muller (1993), Smyth & Dumansky (1995) y Astier & Masera (1996), y Sarandón (1997, 1998), parece que hay en general acuerdo sobre algunos principios que deben cumplirse para un manejo de tierras sustentable. Uno de estos manejos es la agricultura que, por lo tanto, deberá ser: a) Suficientemente productiva, b) Ecológicamente adecuada (que conserve la base de recursos naturales y preserve la integridad del ambiente a nivel local, regional y global), c) Económicamente viable y d) Cultural y socialmente aceptable.

Si aceptamos estas condiciones, entonces los indicadores deberían evaluar o abarcar aspectos: a) ecológicos, b) sociales y culturales y c) económicos:

a) Aspectos ecológicos: Dentro de esta categoría de análisis, los indicadores propuestos deberán evaluar aspectos que afectan:

• *La capacidad productiva del agroecosistema:* Se refieren a aspectos del manejo que ocasionen un cambio en la capacidad o potencial productivo del propio sistema. El mantenimiento o mejoramiento de los recursos productivos, es una condición necesaria para alcanzar la sustentabilidad. Ello implica que los recursos renovables deben ser utilizados a un ritmo menor o igual al de su reposición y los recursos no renovables a un ritmo similar al que permita el desarrollo de una tecnología de sustitución del recurso.

Estos indicadores se referirán, entre otros aspectos a: erosión del suelo, disminución de la materia orgánica, de la estructura, agotamiento de nutrientes, mantenimiento de la biodiversidad.

• *El impacto ambiental externo al predio:* Se refiere a aquellos aspectos que, aunque no atentan contra la productividad del sistema, causan un daño al ambiente o a la salud de animales y/o de la población en el corto o largo plazo. Ej.: contaminación de acuíferos por pesticidas ó nitratos, contaminación con residuos de plaguicidas de los alimentos, el peligro de intoxicación de los trabajadores rurales, la eliminación de animales silvestres, alteración de su hábitat.

b) Aspectos sociales y culturales: se refiere a aquellos relacionados con las condiciones de vida y el grado de aceptación de la tecnología usada. Estos indicadores son tan importantes como los otros (Azar *et al.*, 1996). La agricultura debe ser culturalmente y socialmente aceptada para que sea sustentable. Esto se refiere a algunos aspectos que tienen que ver, por ejemplo con el grado de satisfacción de necesidades. Se trata de preservar el capital social que es el que pone en funcionamiento el capital natural. En definitiva no nos debemos olvidar que es el productor, con su cultura, conocimiento y escala de valores (dentro de una comunidad) quien toma decisiones permanentemente, las que repercuten en los aspectos ecológicos del sistema. (Este tema es más abordado en el capítulo 4). La importancia de considerar estos aspectos es mayor aún cuando se trata pequeños productores o con bajos recursos. En este caso los aspectos que fortalecen las relaciones entre miembros de una comunidad han sido considerados como favorables a la sustentabilidad (Torquebiau,

1992). Asimismo Flora *et al.*, (1994) destacan el rol del análisis a nivel comunidad y la importancia del enfoque de género en la construcción de indicadores de sustentabilidad. Señalan que la sustentabilidad de la comunidad esta basada en la resiliencia de la comunidad en respuesta a los cambios en las condiciones del ambiente.

c) Aspectos económicos: En esta categoría de análisis se deben desarrollar los indicadores relacionados con la rentabilidad de los sistemas productivos. Ningún sistema es sostenible en el tiempo si no es económicamente viable, pero hay que decidir que tipo de evaluación económica se pretende. Aunque los métodos de la economía clásica no consideran dentro de la evaluación económica a los costos ecológicos, estos existen y deben evaluarse. Un modelo económico no es sustentable si no puede asignarle valores al deterioro de los medios de producción.

3.2.2. Adecuados al objetivo perseguido

No existe un conjunto de indicadores aplicables a todos los casos. Los mismos deben ser elegidos y construidos de acuerdo a nuestro objetivo. Es fundamental, por lo tanto, que sean útiles a nuestro propósito. Este puede ser de investigación, de demostración, destinados a productores, científicos, políticos, o como un método de autodiagnóstico para los propios agricultores. Para cada uno de estos propósitos, los indicadores pueden ser apropiados y no serlo para los otros.

3.2.3. Sensibilidad a los cambios

Es importante que los indicadores sean sensibles a un amplio rango de situaciones y que puedan variar en el tiempo. Por ejemplo, la textura de un suelo no es un buen indicador de sustentabilidad pues no presentará una variación sustancial en tiempos cortos (varios años). La estructura del suelo, por el contrario, es un indicador interesante pues es sensible a los cambios en el tiempo. Sin embargo, hay que tener presente también que los indicadores deben presentar poca variabilidad natural durante el período de muestreo. Por ejemplo, el nivel de nitratos del suelo es un indicador demasiado móvil y que varía en tiempos demasiado cortos como para ser adecuado. El nivel de nitrógeno del suelo puede, entonces, ser un indicador más adecuado.

Ciertas especies animales han sido estudiadas como posibles indicadores por su sensibilidad a los cambios en ciertas condiciones ambientales. Koehler (1992), estudió la mesofauna del suelo como indicador del uso de agroquímicos. Encontró que la alta sensibilidad a los impactos externos, combinada con su importancia para las funciones de los ecosistemas hace a la mesofauna del suelo sumamente valiosa desde el punto de vista toxicológico.

Por otra parte, Pankhurst *et al.*, 1995, evaluaron ciertas propiedades biológicas del suelo como potenciales bioindicadores. Los valores de actividad de las micorrizas, hongos, protozoos y de la peptidasa fueron considerados adecuados, por su capacidad de responder al manejo agrícola. Mientras que el número total de bacterias, hongos y actinomicetes, bacterias celulolíticas, y mineralización del N, entre otros mostraron menos sen-

sibilidad a los tratamientos de manejo agrícola, por lo que estos autores consideraron que tenían un potencial limitado como bioindicadores.

3.2.4. Habilidad predictiva:

En lo posible es deseable que los indicadores tengan habilidad predictiva. Esto quiere decir que la observación del valor del indicador nos indique claramente una tendencia a futuro. Este es el ejemplo del nivel de aceite del automóvil. O podría ser el nivel de nutrientes que se exporta o pierde del sistema con relación al que se incorpora anualmente, como proporción del contenido total. Claramente si el balance neto de un determinado nutriente en nuestro sistema es una pérdida de 50kg por año y tenemos en el suelo 500, nos indica que, de no hacer nada en contrario, en 10 años este nutriente se agotará irremediablemente. Es decir, es un indicador que tiene habilidad predictiva pues nos marca una tendencia a futuro. No lo sería, por ejemplo el % de N del suelo.

3.2.5. Ser fáciles de interpretar

Uno de los atributos más importantes de los indicadores es que éstos deben ser sencillos de interpretar. Por lo tanto, a pesar que se están evaluando diferentes aspectos, económicos, sociales, productivos, que se expresan en diferentes unidades, es importante que los indicadores se presenten en unidades equivalentes. Además, para facilitar su interpretación, deben ser directos, es decir, a mayor valor, más sustentable. Estos requisitos pueden lograrse transformando los valores, por ejemplo a escalas de 0 a 4, siendo 4 el valor que representa lo más sustentable.

Romig *et al.*, (1996) presentan un ejemplo de sencillez en la construcción de indicadores para estimar la calidad del suelo a nivel finca. Seleccionan una serie de indicadores en diferentes áreas, para los cuales construyen una cartilla donde, para cada indicador hay sólo 3 posibilidades que deben ser marcadas en 3 recuadros. Independientemente de la unidad de la variable, todo está estandarizado y simplificado. La suma final del resultado de los valores de cada indicador, da un valor que permite rápidamente saber si ese suelo es saludable o no.

Los indicadores no deben ser sesgados y en lo posible ser independientes del observador: tienen que tener el mismo valor independientemente de la persona que obtenga el dato.

3.2.6. Facilidad de recolección, confiabilidad e importancia

Una aspecto importante a tener en cuenta es que, en lo posible los indicadores deben ser de fácil recolección y uso. Pero esto no debe ser a costa de su confiabilidad.

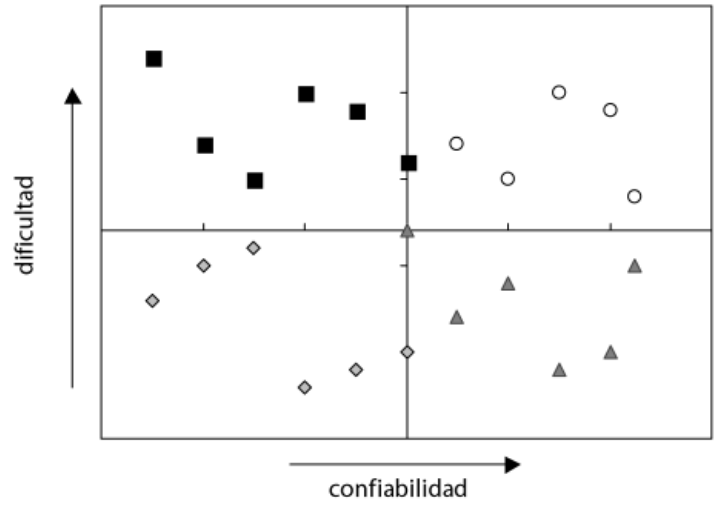
Es importante evaluar la confiabilidad de los indicadores. Esto dará elementos para su correcta ponderación. Un indicador puede ser fácil de obtener (por ejemplo cantidad de aplicaciones de plaguicidas), pero poco confiable, ya que el productor puede no llevar registros de ello y no recordar exactamente los momentos y cantidades. Por otro lado,

es posible que algunos indicadores sean más difíciles de medir pero confiables. Por ejemplo: nivel de fósforo en el suelo ó % de materia orgánica.

La elección de los indicadores adecuados puede hacerse graficando la dificultad y confiabilidad o importancia de los mismos en un eje de coordenadas. En lo posible deben elegirse los indicadores más fáciles de obtener, siempre que sean confiables, que corresponde, en la Figura 1, al recuadro inferior de la derecha.

Figura 1

Diagrama que representa diferentes valores de dificultad y confiabilidad de los indicadores



La importancia es otro atributo de los indicadores. Esta deberá considerarse sobre la base de su aporte a la evaluación de la sustentabilidad. Puede ser también denominado *pertinencia.* Hay indicadores confiables y fáciles de obtener, pero poco importantes. Determinar el grado de importancia de los indicadores, no es sencillo ya que requiere entender su aporte a la sustentabilidad. Nuestra correcta elección de los indicadores apropiados depende de la capacidad de comprensión del funcionamiento del sistema

Así, como la importancia del indicador nivel o presión de aceite en el motor para el funcionamiento del automóvil surge del conocimiento del papel que el aceite juega en el mantenimiento de piezas fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema en cuestión, debemos hacer un esfuerzo por entender cuáles son los componentes fundamentales de nuestro agroecosistemas y la relación con otros componentes para poder elegir adecuadamente los indicadores. El desarrollo y aplicación exitosa de indicadores exigen, por lo tanto, un enfoque sistémico y holístico y un buen conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas. Algo que, por lo general, es bastante deficiente.

3.2.7. Ser robustos e integradores

Otro aspecto que se debe buscar es que los indicadores sean robustos o integradores, que sinteticen mucha información pertinente. Es decir, que con pocos indicadores que tengan mucha información sea suficiente para evaluar la sustentabilidad. Por supuesto que la obtención de un indicador robusto a puede requerir una serie de cálculos previos, que a veces pueden tener cierto grado de dificultad.

Un excelente ejemplo de un indicador robusto es la "huella ecológica", propuesto por Wackernagel & Yount (1998). Estos autores consideran que cada persona y cada grupo de personas (ej. una ciudad o un país), tienen un impacto sobre la Tierra, que corresponde a la huella ecológica de ese individuo o ese conjunto de individuos. "La huella ecológica cuantifica, para cada población determinada el área biótica productiva mutualmente excluyente que debe estar en uso continuo para proveer los recursos y asimilar sus deshechos". Es decir, cuánta superficie útil necesita un individuo de determinada región para vivir como vive. Por ejemplo una huella ecológica de 3 significa que cada persona de ese grupo requiere 3 hectáreas de superficie útil para obtener sus recursos y procesar sus desechos. Esto se puede comparar con la superficie del país (a veces mucho menor) e incluso con la del planeta. Una huella ecológica 3 en un país con una superficie promedio por habitante de 4 indica que todavía hay recursos disponibles. Por el contrario, una huella de 3 en un país con un promedio de 2 has por persona indica que se ha rebasado el límite y que se está viviendo de otros territorios o degradando los recursos.

La obtención de los resultados exige transformar una serie de datos a superficies, lo que no es muy sencillo. Pero el producto final, el indicador, es extremadamente sencillo de interpretar por cualquiera y cumple con varios requisitos importantes: facilidad de interpretación, da idea clara de la situación (donde estamos y adonde vamos); es predictivo, es comparativo entre regiones; se expresa en área, que es un concepto que todos conocen. "Todos tienen experiencia de lo que es una superficie", no es sesgado ni ambiguo.

Por supuesto que al sintetizar tanta información, el indicador en sí mismo no dice nada sobre las causas por las cuales se ha llegado a esta situación, ni brinda mucha más información. Pero cumple su función claramente: un solo indicador resume mucha información y es, como dicen los autores, un indicador de progreso hacia la sustentabilidad regional.

3.3. Pasos a seguir para la evaluación de la sustentabilidad mediante el uso de indicadores

El uso de los indicadores debe permitir comprender perfectamente, sin ambigüedades, el estado de la sustentabilidad de un agroecosistema o el peligro de perderla. Su construcción y uso requieren tener en cuenta una serie de pasos:

1. Consensuar una definición de agricultura sustentable y condiciones necesarias para su logro.

2. Definir los objetivos de la evaluación.
3. Definir el ámbito o nivel de análisis: finca, región, país, planeta etc. Lo que es sustentable para un nivel puede no serlo para el otro. Definir una escala temporal adecuada.
4. Desarrollar los indicadores, derivados de los atributos de sustentabilidad, adaptados para los agroecosistemas en cuestión.
5. Estandarizar y ponderar los indicadores según la situación a analizar. Evaluar la dificultad de obtención, su confiabilidad y pertinencia.
6. Realizar la toma de los datos y el cálculo de los indicadores.
7. Traducirlos en una representación gráfica adecuada.
8. Evaluación de la sustentabilidad de los agroecosistemas considerados. (Es decir identificar aquellos aspectos que lo hagan vulnerable en el tiempo).
9. Proponer las medidas alternativas y correctivas para la recuperación del agroecosistema.
10. Evaluar el impacto que esta nueva propuesta tendría sobre la sustentabilidad del sistema.
11. Evaluar la utilidad de los indicadores empleados y proponer las modificaciones necesarias.

1. Consensuar una defnición de sustentabilidad

Aunque quizás parezca obvio, el primer paso para evaluar la sustentabilidad es estar de acuerdo en lo que esto significa. Este es un paso importante porque no existe unanimidad de criterios sobre este punto. Es fundamental entonces, que todos los involucrados en este proceso estén de acuerdo y utilicen los mismos conceptos. El desarrollo de los indicadores exige definir "a priori", aquellos aspectos considerados fundamentales para lograr la sustentabilidad.

2. Definir los objetivos

El siguiente paso es definir claramente los objetivos. Es decir, definir para qué queremos evaluar la sustentabilidad. Se puede tratar del desarrollo de una metodología para ser aplicada por científicos o por productores. No serán los mismos indicadores ni la misma metodología para su obtención entonces, la que se elija. Thompson & Pretty (1996), desarrollaron una serie de indicadores de sustentabilidad y conservación de suelos especialmente apropiados para la autoevaluación de los agricultores de Kenya de bajos recursos. La elección de los indicadores se hizo de una manera participativa con los mismos agricultores y buscó que fuesen sencillos de obtener e interpretar, para lograr una gran adopción de las prácticas innovativas por parte de los mismos productores. Lo mismo proponen Dalsgaard & Oficial (1997), para pequeños campesinos productores de arroz en Filipinas, donde la participación conjunta de agricultores e investigadores es considerada esencial. Incluso para estos autores, las categorías indígenas de clasificación de los recursos naturales cumplen un rol importante en el diseño de los muestreos y el monitoreo a campo.

3. Definir la escala espacial y temporal.

Posteriormente o simultáneamente se debe tener en claro el nivel de análisis. Si es en el ámbito de finca o predio, en el ámbito regional o de cuenca. Para cada uno de estos

niveles se deben elegir los indicadores y la metodología apropiada. Lo que es sustentable a cierto nivel (nivel de finca) puede no serlo en otro (a nivel regional). Por ejemplo, la huella ecológica es un excelente indicador a escala global o regional, pero no a nivel de productor o de finca. Asimismo, los sistemas de información geográfica (GIS) y sensores remotos tienen mucha utilidad para obtención de inventarios de recursos y el modelado para el desarrollo sustentable regional (Hall, 1998; Zhou, 1998), no son útiles para niveles menores. Izac & Swift (1994), consideran que la comunidad es la escala apropiada para la evaluación de la sustentabilidad agrícola en pequeños productores del SubSahara en África. Lo mismo hace Gómez *et al.*, (1996) que evalúa la sustentabilidad de pequeños productores a través de valores referenciados con los valores promedios de la comunidad.

Paralelamente debe definirse también la escala temporal de referencia. Aunque el factor temporal es intrínsecamente parte del concepto de sustentabilidad, no siempre es tenido en cuenta en la construcción de indicadores.

4. Desarrollo de los indicadores

Una vez establecidos estos pasos deben desarrollarse los indicadores apropiados. Estos deben estar de acuerdo con los recursos disponibles. No pueden elegirse indicadores que requieran mediciones sofisticadas si no se cuenta con el instrumental o con el tiempo suficiente para ello. Muchas veces, la evaluación cualitativa puede ser suficiente, según el objetivo perseguido. Sobre todo cuando se busca comparar sistemas.

En lo posible se debe buscar que los indicadores sean robustos e integradores. Es decir que contengan mucha información y pertinente. No debe confundirse un dato con un indicador. El indicador es una construcción sobre la base de datos que se consideran importantes para la sustentabilidad y que son ponderados de determinada manera para brindar información importante y sustancial. Lo ideal es poder definir o desarrollar o construir pocos indicadores bien robustos, aunque no siempre se puede.

5. Estandarización y ponderación de los indicadores: un paso necesario

Una de las dificultades más comunes en el uso de los indicadores deriva de las diferentes unidades en que se expresan las distintas variables, teniendo en cuenta que se evalúan aspectos ecológicos, productivos, sociales, económicos. Esto dificulta enormemente la interpretación de los resultados. Por otro lado, se debe procurar que todos los indicadores sean directos, a mayor valor, más sustentable. De lo contrario deben ser transformados para cumplir con esta condición: a mayor valor mayor sustentabilidad. Esto evitará errores de interpretación y facilitará el análisis posterior. Para ello se propone la construcción de escalas sencillas de 0 a 4, siendo 0 menos sustentable y 4 más sustentable. Todos los valores deben transformarse o adecuarse a estas escalas. Esto dependerá de las condiciones ecológicas y socioeconómicas de la zona. Esto posibilita la comparación de diferentes sistemas productivos e incluso de sistemas similares de diferentes zonas.

Ponderado los indicadores: Tanto para la construcción de los indicadores, como para

la interpretación de los mismos, la ponderación es un paso fundamental, e inevitable, para llegar con éxito a la evaluación de las sustentabilidad. Debemos decidir, entre varios indicadores, cuáles de ellos son los más importantes o si son todos iguales. Esto es inevitable, ya que, si no lo hacemos, estamos considerando, de hecho, que todos tienen el mismo peso relativo. La ponderación es en definitiva un coeficiente por el cual se multiplicará tanto el valor de las variables que forman el indicador, como los indicadores.

La ponderación puede hacerse por consenso o por medio de la consulta con expertos en el tema (Gayoso & Iroumé, 1991). Según las características de los mismos se asignará la importancia relativa a cada parámetro considerado en los indicadores seleccionados. Es importante reconocer un cierto grado de subjetividad en la ponderación de los indicadores. Pero esto es inevitable ya que depende de la capacidad de entender la función de ese componente sobre la sustentabilidad del sistema en cuestión. Esta subjetividad puede resultar más importante cuando se quiere comparar la sustentabilidad *per se,* pero no resulta un impedimento cuando lo que deseamos hacer es una evaluación comparativa.

Es importante desde el punto de vista metodológico, que la ponderación sea previa a su aplicación.

6. Obtención de la información

La información necesaria para la construcción de los indicadores es muy variada, depende de innumerable factores y objetivos, disponibilidad de recursos y de la escala temporal y espacial. Puede obtenerse mediante:

I. Encuestas a los productores: Esto se referirá a las prácticas de manejo, fertilización, aplicación de productos, formas de comercialización, etc. Es importante tener en cuenta las técnicas de investigación participativas. Para ello, y según las características de los productores, es muy importante contar con el asesoramiento de antropólogos o sociólogos.

II. Relevamiento de datos a campo: Se referirán a datos sobre superficie de cultivos, su distribución espacial, presencia de plantas indicadoras, fauna benéfica, daño y presencia de plagas, características del suelo, rendimiento y calidad del cultivo, etc. Pueden ser también datos de catastro, imágenes satelitales.

III. Recopilación y análisis de la bibliografía: Cuando, como se presume, no existan para esta zona algunos de los datos que se consideran importantes, estos serán tomados, extrapolados y adaptados de la bibliografía existente. Este es el caso de la peligrosidad de algunos productos usados por los productores y su destino final. Otro ejemplo es el peligro de lixiviación de nitratos en las aguas.

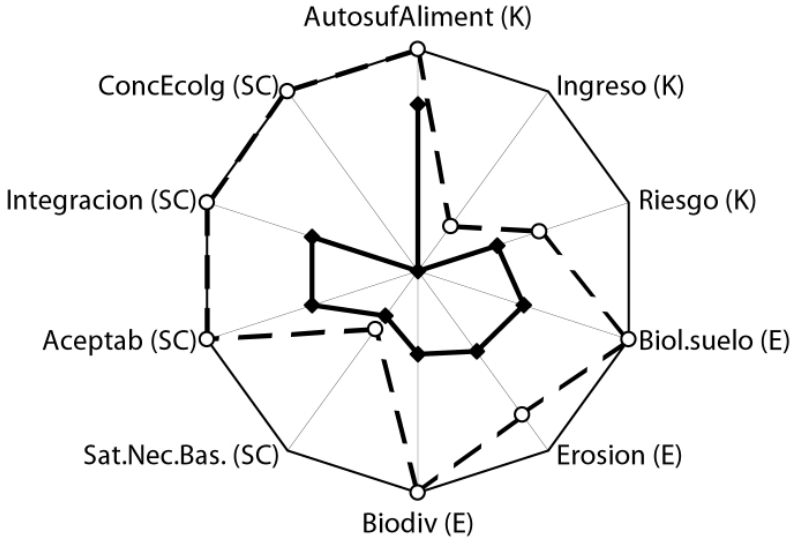
7. Representación de los indicadores

El objetivo de los indicadores, de simplificar la realidad compleja de la sustentabilidad, exige que los resultados puedan ser expresados de manera sencilla y clara. Una forma de hacer esto es su representación gráfica en un diagrama tipo tela de araña, ameba o cometa, como señalan varios autores (Astier & Masera,1996; Gómez *et al.*, 1996 y

Sarandón, 1997, 1998; Bockstaller *et al.*, 1997). En este diagrama se representan los valores de los indicadores obtenidos y se comparan con una situación ideal. Esto permite detectar los puntos críticos de cada sistema (Figura 2).

Figura 2

Representación gráfica de los indicadores de sustentabilidad en dos fincas de la provincia de Misiones, Argentina, mediante el sistema de tela de araña o cometa. (K): Indicadores económicos, (E): ecológicos y (SC): socioculturales



Esta representación gráfica tiene la ventaja de sintetizar mucha información y permitir la visualización de los puntos críticos y la distancia entre el sistema real y el que se define como ideal. Uno de los problemas que tiene es que requiere definir valores ideales. Este análisis permite detectar aquellos puntos críticos del manejo del sistema que atentan o comprometen la sustentabilidad. Esto permite prestar especial atención, en futuros monitoreos, al manejo de tales aspectos con el fin de observar avances o retrocesos.

A pesar de la capacidad de información que brinda este tipo de diagramas, a veces es necesario sintetizar aún más la información hasta obtener un solo valor o índice de sustentabilidad. Efectivamente, todos los indicadores pueden ser relacionados entre sí, en una suma algebraica donde se considere la importancia relativa de cada uno de ellos o su contribución a la sustentabilidad, para construir un supravalor o índice de sustentabilidad. Esto puede ser interesante cuando se trata de comparar muchos establecimientos. Por ejemplo, si queremos comparar a 20 productores no podemos utilizar el diagrama de tela de araña porque la superposición de tantas líneas lo haría poco útil. En este caso, dis-

poner de un sólo valor permitirá ordenarlo, elegir los mejores y ahora sí, abrir un poco más la información con este tipo de diagrama.

A pesar de la ventaja que representa poder sintetizar la sustentabilidad en un solo valor, para hacer esto debemos tomar una decisión trascendental que, resulta por otra parte, también inevitable. Es elegir entre el concepto de sustentabilidad débil o fuerte. Por acción u omisión, estamos adhiriendo a alguno de los dos. A pesar que el concepto de sustentabilidad fuerte y débil es un poco complejo (ver capítulo 22), en síntesis consiste en considerar que el capital natural puede ser sustituido por capital hecho por el hombre o no. La sustentabilidad débil sostiene que estos dos son, en cierto grado, sustituibles; mientras el valor total del capital se mantenga constante se puede considerar sustentable. Por el contrario, la idea de la sustentabilidad fuerte no admite este tipo de sustitución entre el capital natural y el capital hecho por el hombre, ya que se considera que ambos son complementarios y no sustitutos ya que se necesita capital natural para conseguir capital manufacturado, pero éste no puede fabricar capital natural el que depende de las leyes de la naturaleza, especialmente las leyes de la termodinámica.

Un ejemplo de esto lo tenemos en el trabajo de Gómez *et al.*, 1996. Estos autores consideran que la sustentabilidad a nivel de finca, puede ser evaluada a través del uso de 6 indicadores, agrupados en dos grandes áreas: la satisfacción del productor: definida por la rentabilidad, riesgo de pérdida de cosecha y los rendimientos en comparación con los otros miembros de la comunidad y el otra área es la conservación de los recursos, integrada por el % de materia orgánica, el % de cobertura del suelo y la profundidad del horizonte superficial. Luego de hacer los cálculos Gómez *et al.*, (1996) sintetizan los 6 indicadores en dos índices, que corresponden a las 2 áreas. Estos se promedian en un solo índice, siempre y cuando, el valor de ambos haya sido superior a 1, que es el valor límite de sustentabilidad. Es decir, no admiten promediar o considerar como sustentable al sistema, si el área conservación de recursos da 0,8 y la satisfacción del productor 1,4, aunque el resultado (1,2) sea mayor que el valor considerado umbral. Esto implica que no puede admitirse una satisfacción del productor a costa de la degradación de los recursos. Aunque los autores no lo mencionan, están optando por el principio de sustentabilidad fuerte.

11. Evaluación de los puntos críticos

El análisis del uso de los indicadores permite detectar aquellos puntos críticos del manejo del sistema que atentan o comprometen la sustentabilidad. Esto permite prestar especial atención, en futuras inspecciones, al manejo de tales aspectos con el fin de observar avances o retrocesos.

A partir de este diagnóstico se pueden proponer medidas correctivas de estos puntos críticos. En este sentido, es importante señalar que, una vez detectados los aspectos más críticos, por ejemplo del manejo de ciertos sistemas, se pueden monitorear estos en el tiempo. Por ejemplo si aparece que el balance de nutrientes es un punto crítico, porque es negativo o por un valor altamente positivo que implica un riesgo grave de conta-

minación, se puede monitorear entonces el nivel de este nutriente periódicamente.

La propuesta de un sistema alternativo que mejore o minimice los riesgos también deberá evaluarse a través de los indicadores para saber que impacto tendría esta nueva propuesta sobre la sustentabilidad del sistema

Finalmente luego de aplicar esta metodología se debe hacer un análisis de la utilidad de los indicadores empleados, su grado de dificultad y la importancia y pertinencia de la información que aportaron. Esto servirá para hacer los ajustes necesarios que permitan ir desarrollando una metodología apropiada y validada para esas circunstancias y objetivos.

4. Conclusiones

La complejidad de la evaluación de la sustentabilidad requiere la simplificación en valores objetivos, claros y que brinden buena información, denominados indicadores. El desarrollo y construcción de indicadores adecuados requiere tener en cuenta una serie de pasos y algunas características que estos deben reunir.

No es algo fácil, es relativamente nuevo, pero se están haciendo avances en este sentido. Es importante tener en claro una característica muy especial de la evaluación de la sustentabilidad. A diferencia de otras evaluaciones, rendimiento, rentabilidad, biomasa etc., la sustentabilidad no tiene un punto de referencia. No se puede comprobar.

Por ejemplo, existen metodologías para evaluar el nivel de nitratos a campo de manera sencilla y rápida y de bajo costo. Igualmente, existen metodologías que buscan hacer sencillo y práctico el análisis del déficit de nitrógeno de un cultivo por medio de la medición de clorofila. O métodos para estimar el % de cobertura de residuos mediante la intersección de varios puntos. En este caso estamos simplificando una realidad un poco compleja a través de métodos indirectos y simples, como los indicadores. Pero, ante la duda, existe siempre la posibilidad de saber la verdad. Nuestro dato puede ser "chequeado" y comprobado. Con la sustentabilidad esto no es posible. No, al menos en un corto período de tiempo. La comprobación quizá puede ser hecha dentro de 25 años cuando comprobemos que el sistema que señalamos como más sustentable aún sigue cumpliendo su función y el otro no. Por eso es tan importante que la presentación de la metodología sea clara y el marco conceptual también.

A pesar de estos inconvenientes, la transformación de la sustentabilidad de un concepto abstracto en un criterio operativo es un objetivo importante y vale la pena hacer el esfuerzo.

Aunque la construcción de los indicadores es un proceso que tiene mucho de personal y no hay recetas, en este capítulo se han tratado de dar algunos elementos a tener en cuenta para facilitar su desarrollo.

Astier M & O Masera (1996) Metodología para la evaluación de sistemas de manejo incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS). Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada. Gira. Documento de Trabajo Nº 17: 1-30.

Azar CH, J Holmberg & K Lindgren (1996) Socio-ecological indicators for sustainability. Ecological Economics 18: 89-112.

Bejarano Ávila J (1998) Un marco institucional para la gestión del medio ambiente y para la sostenibilidad agrícola en agricultura, medio ambiente y pobreza rural en América Latina. IFPRI-BID, Washington D.C.

Bockstaller C, P Girardin & HMG van der Werf (1997) Use of agroecological indicators for the evaluation of farming systems. European Journal of Agronomy 7: 261-270.

De Camino V, Ronnie de & S Muller (1993) Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales. Bases para establecer indicadores. Serie Documentos de Programas Nº 38. 134 pp. IICA

Cook RJ (1996) Sustainable agriculture: introduction and summary. Canadian Journal of Plant Pathology 18: 115-118.

Dalsgaard JP & RT Oficial (1997) A quantitative approach for assessing the productive performance and ecological contributions of smallholders farms. Agric System 55(4): 503-533.

Flora BC, M Kroma & Ameares (1994) Indicators of sustainability: community and gender. Proceedings of the indicators of sustainability Conference and Workshop. August 1-5, 1994. Report Nº 1: 81-94.

Gayoso J & A Iroumé (1991) Metodología para estimar la fragilidad de terrenos forestales. Medio Ambiente 11(2): 13-24.

Gomez AA, DE Swete Kelly, JK Syers & KJ Coughlan (1996) Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. Methods for assessing soil quality, SSSA Special Publication 49: 401-410. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Goodland R (1997) Environmental sustainability in agriculture: diet matters. Ecological Economics 23: 189-200.

Goodland R (1998) Environmental sustainability in agriculture: Bioethical and religious arguments against carnivory. Ecological Sustainability and Integrity 235- 265.

Goodland R & H Daly (1996) Environmental sustainability: Universal and non-negotiable. Ecological Applications 6(4): 1002-1017

Hall PJ (1998) Remote sensing and criteria and indicators of sustainable forest management. In: Automated interpretation of high spatial resolution digital imagery for Forests. Hill DA & DG Leckie (Eds.) Natural Resource Canadá, Canadian Forests Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, British Columbia, pp 367-374.

Hansen JW & JW Jones (1996) A systems framework for characterizing farm sustainability. Agricultural Systems 51: 185-201.

Hartemink AE (1998) Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugarcane in Papua New Guinea. Geoderma 85: 283-306.

Izac AMN & MJ Swift (1994) On agricultural sustainability and its measurement in small -scale farming in sub-Saharan Africa. Ecological Economics 11: 105-125.

Kaufmann RH & CJ Cleveland (1995) Measuring sustainability: needed-and interdisciplinary approach to an interdisciplinary concept. Ecological Economics 15: 109-112.

Koehler HH (1992) The use of soil mesofauna for the judgement of chemical impact on ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment 40: 193-205.

Lewandowski I, M Hardtlein & M Kaltscmitt (1999) Sustainable crop production: definition and methodological approach for assessing and implementing sustainability. Crop Sci 39: 184-193.

Meyer JL, CL Campbell, TJ Moser, GR Hess, JO Rawlings, S Peck & WW Heck (1993) Indicators of the ecological status of agroecosystems. In McKenzie DH, DE Hiatt & DJ Mc Donald (Eds). Ecological Indicators, 1 - 2: 629-659.

Mitchel CC, G Traxler & JL Novak (1996) Measuring sustainable cotton production using total factor productivity. Journal of Production Agriculture 9 (2) : 289-297.

Pankhurst CE, BG Hawke, HJ McDonald, CA Kirkby, JC Buckerfield, P Michelsen, KA O´Brien, VVSR Gupta & BM Doube (1995) Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. Australian Journal of Experimental Agriculture, 35: 105-1028

Romig DE, MJ Garlynd & RF Harris (1996) Farmer-base assessment of soil quality: A soil health scorecard.

Methods for assessing soil quality, SSSA Special Publication 49:39-60.Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Ruttan VW (1994) Constraints on the design of sustainable systems of agricultural production. Ecological Economics 10:209-219.

Ruttan VW (1996) Research to achieve sustainable growth in agricultural production: into the 21 st century. Can Journal of Plant Pathology 18:123-132.

Sarandón SJ (1997) Evaluación de la sustentabilidad de agroecosistemas mediante el uso de indicadores. III Jornadas Científicas sobre Medio Ambiente. Asociación de Universidades del Grupo Montevideo.

Sarandón SJ (1998) The development and use of sustainability indicators: a need for organic agriculture evaluation. XII International Scientific Conference IFOAM 1998. 16/19 Noviembre 1998, Mar del Plata, Argentina: pp. 135.

Sarandón SJ (2000) ¿Se puede medir la sustentabilidad agrícola? Revista Horticultura Internacional, España, Abril 2000, pág 144.

Smith C & R Thwaites (1998) TIM: Evaluating the sustainability of agricultural land management at the planning stage. National Soil Conference. Environmental Benefits of Soil Management. Conference Proceedings. Brisbane.

Smyth AJ & J Dumanski (1995) A framework for evaluating sustainable land management. Can Journal Soil Sci 75:401-406.

Thompson J & J Pretty (1996) Sustainability indicators and soil conservation. J of Soil and Water Conservation July-August 265-273.

Torquebiau E (1992) Are tropical agroforestry home gardens sustainable? Agriculture, Ecosystems and Environment 41:189-207.

Wackernagel M & DJ Yount (1998) The ecological footprint: an indicator of progress toward regional sustainability. Environmental Monitoring and Assessment 51:511-529.

WCED (1987) Our common future. Oxford Univ. Press, Oxford.

Winograd M, J Eade & A Farrow (1998) Atlas de indicadores ambientales y de sustentabilidad para América Latina y el Caribe. Convenio CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Programa en CD.

Zhou Q (1998) Use of GIS technology for land resource inventories and modelling for sustainable regional development. Ambio 27 (6):444-450.

El Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) y su aplicación en un sistema agrícola campesino en la región Purhepecha, México

Marta Astier, S. López Ridaura, E. Pérez Agis & O.R. Masera

1. Introducción

El diseño de marcos operativos que permitan evaluar de manera tangible la sustentabilidad de diferentes proyectos, tecnologías, o agroecosistemas, es uno de los principales retos que enfrenta hoy la discusión sobre agricultura y, en general, sobre desarrollo sustentable.

Evaluar la sustentabilidad implica un esfuerzo verdaderamente interdisciplinario e integrador, en donde confluyan el análisis de procesos ambientales con fenómenos de tipo socioeconómico; implica también trabajar con marcos multicriterio basados en indicadores cualitativos y cuantitativos; finalmente, hace necesario integrar perspectivas temporales más amplias que las usualmente consideradas en una evaluación convencional.

La mayoría de los esfuerzos hasta ahora realizados para evaluar la sustentabilidad del manejo de recursos naturales, se han concentrado en la elaboración de listas de indicadores (WCDE, 1987; Taylor *et al.*, 1993; Azar *et al.*, 1996; Shaw, 1996; Syers *et al.*, 1994) así como en el cálculo de índices (Harrington, 1992; Harrington *et al.*, 1994; Taylor *et al.*, 1993).

Puede decirse que son relativamente escasos los esfuerzos sistemáticos y consistentes dirigidos a desarrollar marcos de evaluación de sustentabilidad que hayan probado además de consistencia teórica aplicabilidad práctica (IUCN, 1997; De Camino & Muller 1993; FAO, 1994). Específicamente, el diseño de marcos de evaluación de sustentabilidad para sistemas agrícolas, pecuarios o forestales en el contexto campesino, es un campo aun muy poco explorado.

En general, las propuestas de evaluación de sustentabilidad normalmente quedan en marcos muy generales y laxos, destinados a evaluaciones "rápidas", o en propuestas tan detalladas que se pueden realizar sólo en condiciones experimentales. Faltan esfuerzos para

establecer marcos de evaluación que sean realmente operativos en condiciones de campo y que simultáneamente estén basados en una evaluación rigurosa de sustentabilidad.

En el presente capítulo, se presenta una síntesis del Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) (Masera *et al.*, 1999) exponiendo sólo los aspectos considerados como esenciales para comprender las bases teóricas y practicas del marco. Así mismo, se ilustra la aplicación del MESMIS con un estudio de caso sobre la evaluación de un sistema de producción campesina de maíz en la Región Purhepecha de México (Astier *et al.*, 2000).

2. El marco MESMIS

El Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) se dirige a proyectos agrícolas, forestales y pecuarios llevados a cabo colectiva o individualmente y que se orientan al desarrollo y/o la investigación. Se pretende que el marco de evaluación evite caer en un instrumento meramente "calificador" de opciones y que sirva como punto de apoyo para hacer operativo el concepto de sustentabilidad en la búsqueda de un desarrollo social más equitativo y ambientalmente sano de las comunidades rurales.

Para lograr esta meta el MESMIS propone una estructura cíclica y flexible, adaptada a diferentes niveles de información y capacidades técnicas. Tiene una orientación práctica y se basa en un enfoque participativo mediante el cual se promueve la discusión y retroalimentación entre evaluadores y evaluados. Intenta además brindar una visión interdisciplinaria que permita entender de manera integral las limitantes y posibilidades para la sustentabilidad de los sistemas de manejo que surgen de la intersección de procesos ambientales con el ámbito social y económico. Finalmente, propone la comparación entre los sistemas de manejo vigentes y sistemas alternativos, procedimiento que permite: (i) examinar en qué medida estos últimos sistemas son efectivamente más sustentables y (ii) identificar los puntos críticos para la sustentabilidad a fin de impulsar cambios.

El marco MESMIS, parte de las siguientes premisas:

- El concepto de sustentabilidad se define a partir de siete atributos generales de los agroecosistemas o sistemas de manejo: (a) productividad; (b) estabilidad; (c) confiabilidad; (d) resiliencia; (e) adaptabilidad; (f) equidad, y (g) autodependencia (autogestión) (Figura 1).
- La evaluación de sustentabilidad se lleva a cabo y es válida solamente para: (a) sistemas de manejo específicos en un determinado lugar geográfico y bajo un determinado contexto social y político; (b) una escala espacial (parcela, unidad de producción, comunidad o cuenca) previamente determinada, y (c) una escala temporal también previamente determinada.
- La evaluación de sustentabilidad es una actividad participativa que requiere de una perspectiva y un equipo de trabajo interdisciplinarios. El equipo de evaluación debe

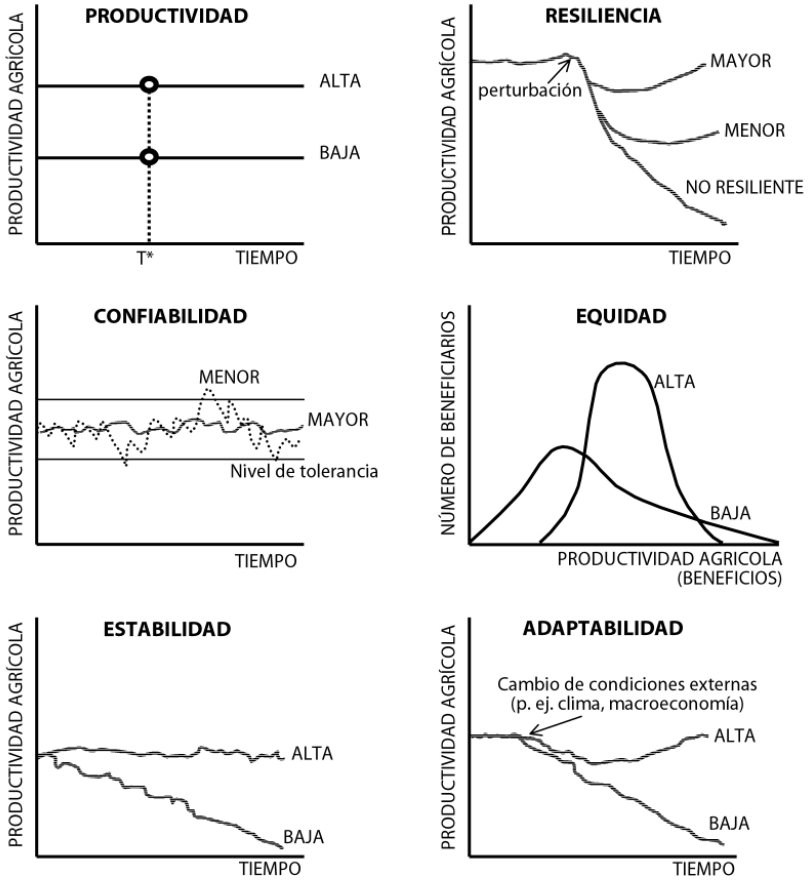
incluir tanto a evaluadores externos como a los involucrados directos (agricultores, técnicos, representantes de la comunidad y otros actores).

• La sustentabilidad no puede evaluarse *per se* sino de manera *comparativa* o *relativa*. Para esto existen dos vías fundamentales: (a) comparar la evolución de un mismo sistema a través del tiempo (comparación longitudinal), o (b) comparar simultáneamente uno o más sistemas de manejo alternativo o innovador con un sistema de referencia (comparación transversal). Esto marca una diferencia fundamental con otros marcos como el FESLM (FAO, 1994).

• La evaluación de sustentabilidad es un proceso cíclico que tiene como objetivo central el fortalecimiento tanto de los sistemas de manejo como de la metodología utilizada.

Figura 1

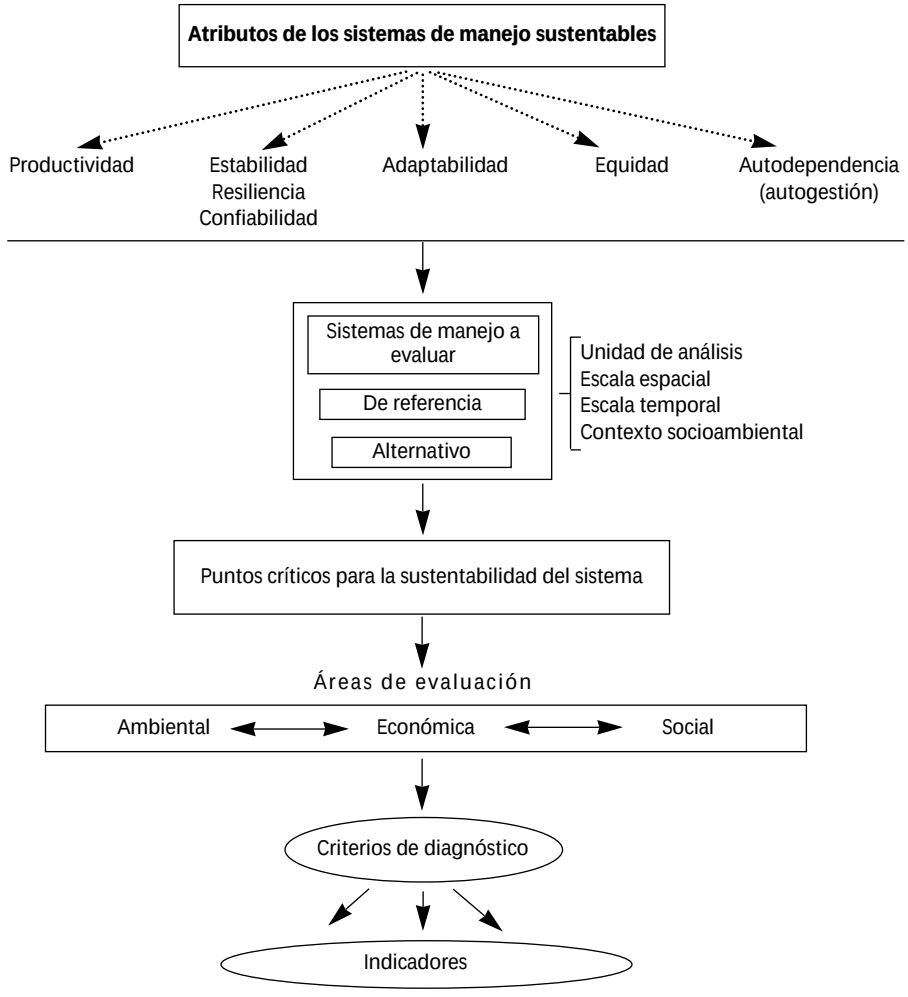
Representación gráfica de los atributos generales de sustentabilidad.



Para dar concreción a los atributos generales, se definen una serie de puntos críticos para la sustentabilidad del sistema de manejo que se relacionan con tres áreas de evaluación (ambiental, social y económica). En cada área de evaluación se definen criterios de diagnóstico e indicadores. Este mecanismo asegura una relación clara entre los indicadores y los atributos de sustentabilidad del agroecosistema (Figura 2). La información obtenida mediante los diferentes indicadores se integra finalmente utilizando técnicas de análisis multicriterio, con el fin de emitir un juicio de valor sobre los sistemas de manejo y brindar sugerencias para mejorar su perfil socioambiental.

Figura 2

Esquema general del MESMIS: Relación entre atributos e indicadores.



Operativamente, para aplicar el marco MESMIS, se propone un *ciclo de evaluación* que comprende los siguientes elementos o pasos:

1. Determinación del objeto de la evaluación. En este paso se definen los sistemas de manejo que se han de evaluar, sus características y el contexto socioambiental de la evaluación.
2. Determinación de los puntos críticos que pueden incidir en la sustentabilidad de los sistemas de manejo que se van a evaluar.
3. Selección de indicadores. Aquí se determinan los criterios de diagnóstico y se derivan los indicadores estratégicos para llevar a cabo la evaluación.
4. Medición y monitoreo de los indicadores. Este paso incluye el diseño de los instrumentos de análisis y la obtención de la información deseada.
5. Presentación e integración de resultados. Aquí se compara la sustentabilidad de los sistemas de manejo analizados y se indican los principales obstáculos para la sustentabilidad, así como los aspectos que más la favorecen.
6. Conclusiones y recomendaciones. Por último, en este paso se hace una síntesis del análisis y se proponen sugerencias para fortalecer la sustentabilidad de los sistemas de manejo, así como para mejorar el proceso mismo de evaluación.

Al realizar estos seis pasos se habrá avanzado en el entendimiento de los sistemas y los aspectos que se desea mejorar, para hacerlos más sustentables, y con esto se da inicio a un nuevo ciclo de evaluación (Figura 3).

3. El marco MESMIS en la práctica. Evaluación de sistemas de maíz campesinos, Michoacán, México

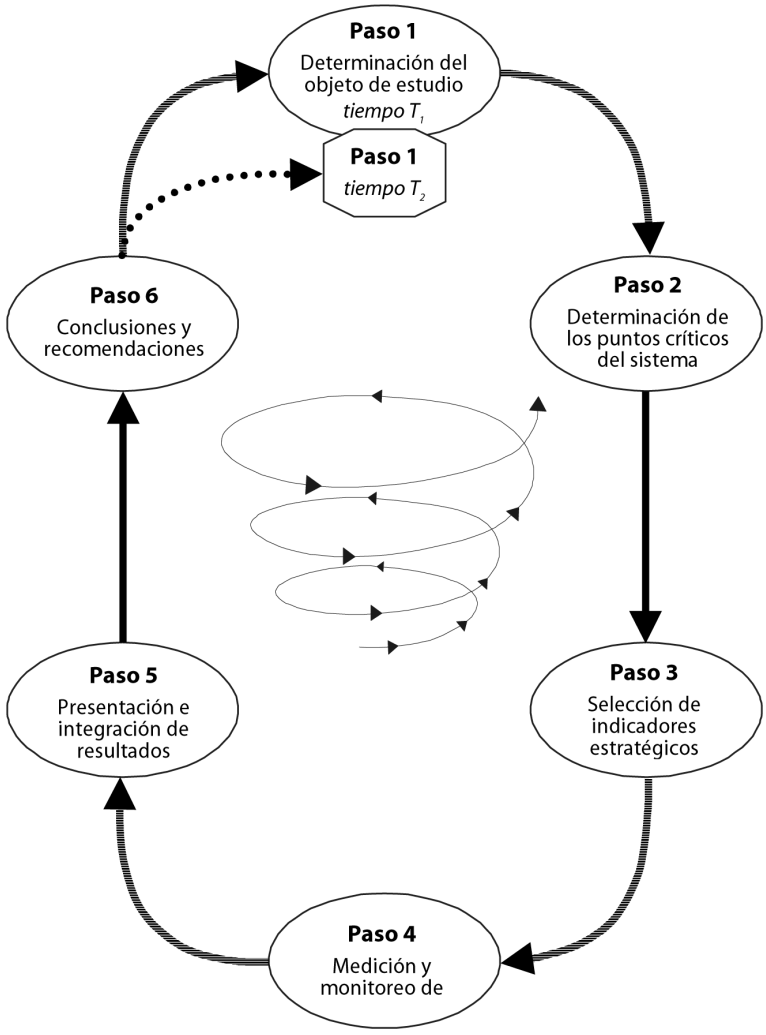
El marco MESMIS ha sido aplicado de manera sistemática a una variedad de estudios de casos en sistemas de manejo de recursos naturales en México. A continuación se ilustran las diferentes fases de evaluación comprendidas en el MESMIS a través de su aplicación en el estudio de caso de Casas Blancas en el que se evalúan los sistemas de producción campesina de maíz.

La comunidad de Casas Blancas se encuentra dentro de la Cuenca alta del Lago de Zirahuén, ubicada en la Región Purhépecha en el altiplano del estado de Michoacán. La agricultura campesina maicera de Casas Blancas, es representativa de una importante fracción de la agricultura de México practicada en condiciones de temporal y en suelos de ladera.

Este estudio forma parte de un proyecto de investigación participativa y de difusión dentro del Programa de Agroecología del Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA A.C.) que inició en 1997. El proyecto tiene como objetivo el diseño de sistemas sustentables de maíz en la región Purhépecha y se lleva a cabo con un grupo de agricultores de la región, en las comunidades de Casas Blancas, Opopeo y Santa Isabel de Ajuno,

Figura 3

El ciclo de evaluación en el MESMIS



interesados en el rescate de cultivos tradicionales y la introducción de cultivos forrajeros y mejoradores del suelo.

3.1. Caracterización de los sistemas de manejo (Paso 1)

Para llevar a cabo este primer paso del ciclo de evaluación, deben efectuarse tres tareas concretas: (a) identificar el o los sistemas de manejo que se van a analizar, incluyendo el

contexto socioambiental en donde están inmersos y las escalas espacial y temporal de la evaluación; (b) caracterizar el sistema de manejo de referencia (tradicional o convencional) que predomina en la región o zona, y (c) caracterizar el sistema alternativo.

La comunidad de Casas Blancas es un fiel representante de las poblaciones rurales de la cuenca alta de la Región Purhépecha, con predominio de las actividades económicas de carácter primario. La comunidad tiene una población de aproximadamente 1.000 personas y cuenta con electricidad, agua potable, escuelas y clínica de salud.

El ejido de mismo nombre, formado por 54 ejidatarios, tiene una superficie de 1620 hectáreas, de las cuales el 80% están cubiertas de bosque y el 18% se dedican a la agricultura. Cada ejidatario cuenta con una superficie compacta de 30 hectáreas que hemos denominado *unidad de producción.* Por lo general cada productor destina el 70% de la superficie a actividades de aprovechamiento forestal y el 30% a actividades agropecuarias. El 60% de los pobladores se dedican a la agricultura.

La producción agrícola depende del temporal y se desarrolla en laderas con una pendiente que va desde un 4 hasta un 13%. Las parcelas miden de 6 a 8 hectáreas, con rendimientos de 1 a 2 $TM.ha^{-1}$. El maíz es el principal cultivo y se practica bajo el sistema de manejo denominado *año y vez,* que consiste en cultivar la tierra un año con maíz en condiciones de monocultivo (existen pequeñas superficies en las que existe policultivo de maíz con legumbres y frutales) dejándola descansar después durante un período de entre 1 y 3 años, a veces con presencia de ganado. A este tipo de agricultura se le considera de subsistencia, ya que la mayor parte de la producción se destina al autoconsumo. Cuando existen excedentes de maíz, estos se venden principalmente en el mercado regional a través de la comercializadora estatal.

En la comunidad de Casas Blancas se pueden identificar dos sistemas de manejo agrícola preponderantes, uno *tradicional* (Figura 4) y otro *comercial,* que se diferencian especialmente por (a) el tipo de fertilizante y de semilla; (b) el tipo de tracción para la labranza; (c) el tipo de mano de obra, y (d) el objetivo de la producción (Tabla 1).

Figura 4

Sistema tradicional de manejo año y vez. Ejido Casas Blancas, Michoacán, 1998. Tomado de Astier *et al.*, (2000)

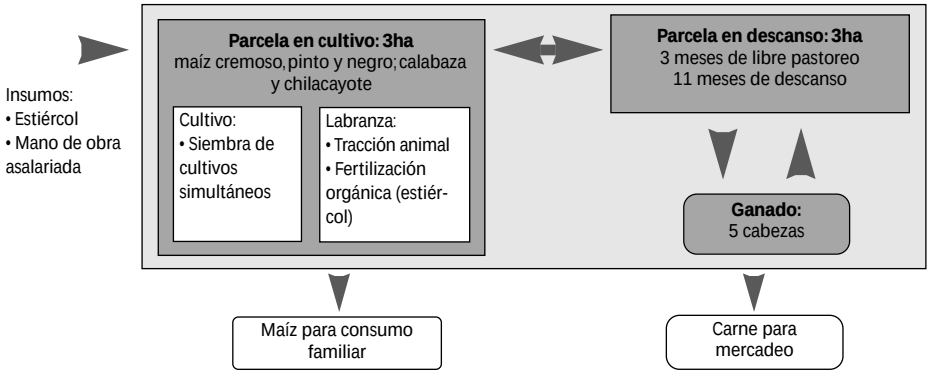


Tabla 1

Características de los sistemas de manejo año y vez. Ejido Casas Blancas, Michoacán, 1998. Tomado de Astier *et al.*, (2000)

Determinantes del agroecosistema			Sistema tradicional	Sistema comercial
Biofísicas			Clima subhúmedo con lluvias en verano. Temperatura media anual de 14ºC a 2100msnm. Precipitación anual de 1000mm. Heladas tardías en marzo y abril, que afectan el cultivo de maíz durante los primeros 15 días de nacido. Heladas tempranas de octubre a enero, que afectan el llenado de grano del maíz y los cultivos de invierno. El granizo se presenta de 2 a 4 días al año, generalmente acompañado de viento durante los meses de junio y julio. Suelos andosoles húmicos y ócricos	
Tecnológicas y de manejo	Tipo de especies y variedades manejadas		Maíz (blanco, cremoso y pinto), chila-cayote (Cucurbita fisifólia) y calabaza	Maíz (blanco); ocasionalmente cultivos forrajeros
	Organización crono-lógica de los cultivos		Policultivo	Monocultivo
	Tracción	Labranza	Tracción animal	Tracción mecánica
		Labores culturales	Tracción animal	Tracción animal
	Manejo de suelos	Conservación	No	No
		Fertilización	Orgánica (estiércol de res y puerco)	Química (sulfato diamónico y sulfato simple, estiércol de res)
	Manejo de plagas y enfermedades		No	No
	Manejo de arvenses		Deshierbe manual	Herbicida y deshierbe manual
	Manejo pecuario		Extensivo	Extensivo
Socio-económicas	Tipo de productores		Ejidatarios con una superficie promedio de 6 ha para la producción de maíz	Ejidatarios con una superficie promedio de 8 ha para la producción de maíz
	Objetivo de la producción		Autoconsumo	Autoconsumo y venta de excedentes
	Tipo de mano de obra		Principalmente familiar	Principalmente contratada
	Organización para la producción		No	No

3.2. Identificación de puntos críticos y selección de indicadores (Pasos 2, 3 y 4)

Después de haber definido claramente los sistemas de manejo bajo estudio, es importante hacer un análisis sobre los posibles puntos críticos; es decir, los aspectos o procesos que limitan o fortalecen la capacidad de los sistemas para sostenerse en el tiempo. Dicho en otras palabras, los aspectos que son críticos - porque las facilitan u obstaculizan - para la productividad, la estabilidad, la resiliencia, la confiabilidad, la equidad, la adaptabilidad y la autogestión del sistema.

A partir de la caracterización detallada de los sistemas agrícolas tradicional y comercial en Casas Blancas, así como de entrevistas y reuniones realizadas con los productores, el equipo evaluador identificó los puntos críticos que inciden directamente sobre los

diferentes atributos de sustentabilidad. Para cada uno de los puntos críticos, el equipo de evaluación seleccionó criterios de diagnóstico e indicadores específicos que, acorde con sus capacidades técnicas, permitieran evaluar el desempeño de los sistemas tradicional y comercial en cada atributo de sustentabilidad (Tabla 2).

Tabla 2

Indicadores propuestos, área de evaluación (AE) y metodología de muestreo (MM) para evaluar la sustentabilidad de los sistemas de manejo. Ejido Casas Blanca, Michoacán, 1998.

Atributo	Criterios de diagnóstico	Puntos críticos	Indicadores	AE[1]	MM[2]
Productividad	Eficiencia	Baja productividad agrícola	**1)** Rendimiento de grano	A	i,a
			2) Índice de cosecha	A	i,a
		Baja productividad pecuaria	**3)** Disponibilidad de forraje	A	a,f
			4) Capacidad de carga animal	A	j
		Baja rentabilidad	**5)** Costos de producción	E	a,b,c
			6) Ingreso	E	a,b
			7) Utilidad	E	k
			8) Relación beneficio-costo	E	k
Equidad	Distribución de costos y beneficios	Altos costos para la adopción del sistema comercial	**9)** Grado de adoptabilidad	S	g
		Limitado abasto familiar de granos básicos	**10)** Grado de autosuficiencia alimentaria	S	a,b,l
Estabilidad	Conservación de recursos	Alta susceptibilidad a la erosión	**11)** Control de erosión del suelo	A	m,d
		Degradación del suelo	**12)** Estabilidad del balance de nutrientes	A	a,f,m
	Diversidad en el tiempo y en el espacio	Predominio del monocultivo	**13)** Grado de diversidad de especies agrícolas por parcela	A	a,f,b
Adaptabilidad	Capacidad de cambio e innovación	Fracaso de paquetes tecnológicos en la zona	**14)** Grado de innovación tecnológica por los productores	S	a,b,e
			15) Grado de permanencia de los productores en el paquete tecnológico	S	b,e
			16) Capacidad de adaptación a cambios ambientales y políticos	S/A	a,b,m
Autogestión	Participación, control y organización	Falta de cooperación entre los productores	**17)** Grado de participación de los productores en asambleas ejidales	S	g
			18) Número de productores que se han integrado a los talleres de GIRA	S	h
			19) Grado de independencia de insumos y servicios externos	S	a,b

(1) Áreas de evaluación
E Económica
S Social
A Ambiental

(2) Métodos de medición
a Encuesta
b Entrevistas
c Talleres
d Visitas a campo
e Reuniones con los productores
f Medición directa en parcelas
g Censos o mediciones en asambleas ejidales
h Registro de la participación de los ejidatarios en talleres participativos
i Medición de grano mediante muestreo aleatorio en parcelas (CP, 1986)
j Estimación según Trillas (1982)
k Cálculos según Masera et al., (1999)
l Cálculos según Alarcón (1997)
m Revisión bibliográfica

Como se sugiere en el marco MESMIS, para la medición de indicadores es importante utilizar diferentes técnicas que se complementen a fin de explorar los diferentes aspectos del sistema de manejo. En este estudio de caso se utilizaron diferentes métodos de medición de indicadores tales como la aplicación de encuestas, la medición de variables directas en el campo, el muestreo en parcelas, reuniones, talleres y entrevistas con productores y revisiones bibliográficas de trabajos anteriores en la zona, entre otros (Ver Tabla 2). En todas estas etapas, la integración de los productores es esencial.

3.3. Presentación e integración de resultados (Paso 5)

La presentación y análisis del comportamiento de cada indicador en los dos sistemas evaluados permite identificar los aspectos puntuales en los que éstos se diferencian. A continuación se muestran algunas de las gráficas y cuadros que integran los resultados de la medición de los indicadores seleccionados. La Tabla 3 ilustra los indicadores *utilidad* y relación *costo beneficio* los cuales se generan a partir de la información arrojada por otros indicadores, como rendimientos, costos de producción e ingreso, y están asociados al atributo productividad.

Tabla 3

Utilidad y relación beneficio-costo. Ejido Casas Blancas, Michoacán, 1998

Indicador	Unidad	Sistema tradicional	Sistema comercial
Costos de producción		2072	2100
Ingresos	pesos.ha^{-1}.año	2738	4112
Utilidad		**666**	**2012**
Relación beneficio-costo	**[-]**	**1,32**	**1,96**

Nota: Para el cálculo de la relación beneficio-costo no se tomó en cuenta inflación ni tasas de interés, porque los egresos e ingresos ocurren durante un periodo relativamente corto de tiempo.

El indicador *grado de diversidad de especies agrícolas* da información sobre el atributo estabilidad y, aunque en este estudio se identificó dentro del área ambiental, éste está también relacionado con aspectos de carácter económico y social (Tabla 4).

Tabla 4

Descripción del indicador Grado de diversidad de especies agrícolas. Ejido Casas Blancas, Michoacán, 1998

Familia	Sistema tradicional	Sistema comercial
Gramíneas	Maíz aperlado, cremoso, azul y pinto	Maíz blanco; avena criolla
Cucurbitáceas	Calabaza y chilacayote *(Cucurbita fisifólia)*	-

El atributo adaptabilidad se ilustra con el indicador cualitativo *capacidad de adaptación a cambios políticos y ambientales* el cual se evalúa a partir de la información obtenida de otros indicadores y la aplicación de entrevistas para obtener información sobre los efectos del retraso de las lluvias en los rendimientos (Tabla 5).

Tabla 5

Detalles del indicador capacidad de adaptación a cambios políticos y ambientales. Ejido Casas Blancas, Michoacán, 1998

Cambio	Sistema tradicional	Sistema comercial
Reducción del precio de garantía del maíz	Muy alta	Baja
Aumento de precios de fertilizantes	Alta	Baja
Retraso del temporal	Alta	Alta
Promedio	**Alta**	**Baja**

Nota: La capacidad de adaptación se clasificó como muy alta (los cambios le resultan indiferentes al productor), alta (afectan ligeramente) o baja (tienen un efecto directo).

Los resultados aquí ilustrados son sólo algunos de los 19 indicadores utilizados para la evaluación de los sistemas de producción de maíz en la región Purhepecha de Michoacán (Ver Tabla 2). En el proceso de evaluación de sustentabilidad, uno de los aspectos de mayor importancia es la integración de los resultados arrojados por cada indicador a fin de emitir un juicio de valor sobre los sistemas de manejo analizados, que refleje cómo se comparan entre sí en cuanto a su sustentabilidad.

Esta es una tarea especialmente difícil pues el equipo evaluador se encontrará ante un conjunto de indicadores de diversa índole, que describirán una amplia gama de aspectos ambientales, económicos y sociales. Además, por lo general, varios de los indicadores se habrán podido determinar solamente de forma cualitativa.

Operativamente, para poder integrar y sintetizar adecuadamente la información obtenida con el monitoreo de indicadores, es conveniente cubrir cinco aspectos:

1. Conjuntar los resultados obtenidos por indicador y sistema en una sola tabla o matriz, utilizando las unidades originales de cada indicador.
2. Determinar *umbrales* o valores de referencia para cada indicador.
3. Construir índices por indicador a partir de los valores de referencia o umbrales. Estos índices pueden partir de información de base tanto cualitativa (por ejemplo, *alto, medio* o *bajo*) como cuantitativa.
4. Presentar los resultados de manera conjunta, ya sea en forma de gráficas o tablas, utilizando técnicas de análisis multicriterio.
5. Examinar las relaciones (incluyendo los efectos de retroalimentación positivos o negativos) entre indicadores.

Para la integración de resultados se pueden utilizar diferentes técnicas, desde integraciones totalmente cuantitativas hasta aquellas técnicas de integración cualitativa; un procedimiento que ha mostrado ser de mucha utilidad son los diagramas mixtos (que integran indicadores cualitativos y cuantitativos) llamados AMIBA los cuales son una herramienta visual rápida para ilustrar los resultados de todos los indicadores. Este tipo de gráfico son diagramas radiales donde cada indicador está representado en un eje por separado (Figura 5). Los valores utilizados en la AMIBA se construyen a partir de índices para cada indicador, que representan el porcentaje de la situación analizada con respecto a un valor óptimo o umbral (valor de referencia) (Tabla 6).

Tabla 6

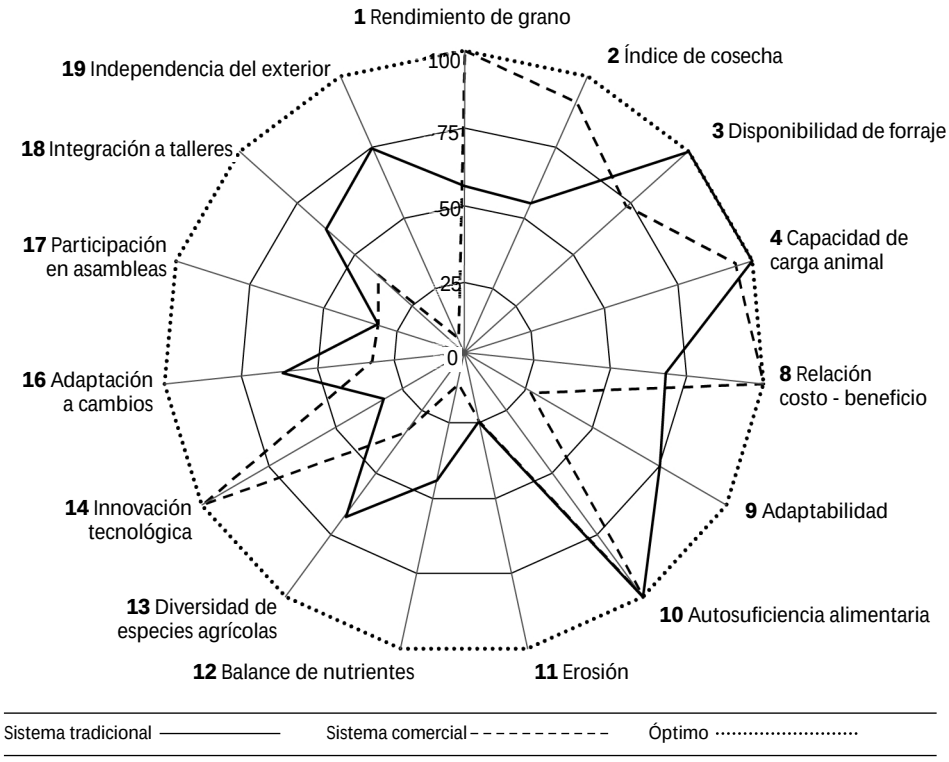
Equivalencia de los indicadores para su presentación en un diagrama tipo AMIBA. Ejido Casas Blancas, Michoacán, 1998

	Indicador	Tradicional	Comercial	Óptimo (100%)	Criterio para el óptimo
1	Rendimiento de grano [tn.ha^{-1}.año	1,2 (55%)	2.2 (100%)	2,2	Rendimiento máximo de la localidad y expectativa de los productores
2	Índice de cosecha [-]	0,21 (54%)	0,35 (90%)	0,39	De acuerdo con Rodríguez (1993)
3	Disponibilidad de forraje [ton/UA/año][1]	0,11 (100%)	0,78 (72%)	1,08	Valor del sistema autosuficiente en rastrojo
4	Capacidad de carga animal [UA/HA][1]	1,72 (100%)	1,61 (94%)	1,72	Criterio personal en base al referente local (ST)
8	Relación beneficio-costo [-]	1,32 (67%)	1,96 (100%)	1,96	Valor máximo de la localidad
9	Grado de adoptabilidad de cada sistema [%]	74 (74%)	26 (26%)	100	Valor máximo posible
10	Grado de autosuficiencia alimentaria [%]	100 (100%)	100 (100%)	100	Valor máximo posible
11	Control de erosión del suelo [ha·año/ha][1]	0,4 (24%)	0,4 (24%)	1,67	Valor correspondiente a 600 kg.ha^{-1}.año, óptimo según Tiscareño et al., (1997)
12	Estabilidad del balance de nutrientes [años]	44 (44%)	10 (10%)	100	Criterio personal
13	Grado de diversidad de especies agrícolas [-]	2 (67%)	1 (33%)	3	Debe haber al menos tres especies diferentes, y al menos una de ellas leguminosa
14	Grado de innovación tecnológica por los productores [%]	30 (30%)	100 (100%)	100	Criterio personal basado en la tendencia local
16	Capacidad de adaptación a cambios ambientales y políticos [%]	60 (60%)	30 (30%)	100	Criterio personal basado en la tendencia local
17	Grado de participación en asambleas ejidales [%]	30 (30%)	30 (30%)	100	Valor máximo posible
18	Productores que se han integrado a los talleres de GIRA [%]	62 (62%)	38 (38%)	100	Valor máximo posible
19	Grado de independencia de insumos y servicios externos [%]	74 (74%)	5 (5%)	100	Criterio personal

[1] Estos dos indicadores (4 capacidad de carga animal y 11 erosión) son negativos, en el sentido de que cuanto más alto es su valor, peor está el sistema. Para facilitar su integración con los demás indicadores, los expresamos de modo positivo utilizando las cantidades inversas. En el caso de la capacidad de carga animal, el indicador usado aquí representa el número de unidades animales que se pueden alimentar en una hectárea [UA/ha], mientras que en el caso de la erosión, el valor que toma el indicador (en [ha·año/ton]) se puede interpretar como la cantidad de hectáreas que producen una tonelada de erosión en un año.

Figura 5

Evaluación integral de los sistemas de manejo de año y vez. Ejido Casas Blancas, Michoacán, 1998.
Tomado de Astier *et al.*, (2000)



3.4. Elaboración de conclusiones y recomendaciones (Paso 6)

Como parte del proceso de evaluación, se propone la elaboración de conclusiones y recomendaciones tanto a los sistemas de manejo como al proceso de evaluación. Con este paso se cierra un primer ciclo de evaluación a fin de impulsar nuevas estrategias de manejo que mejoren la sustentabilidad de lo agrosistemas y sentar las bases para comenzar un nueva ciclo de evaluación con sistemas cualitativamente distintos.

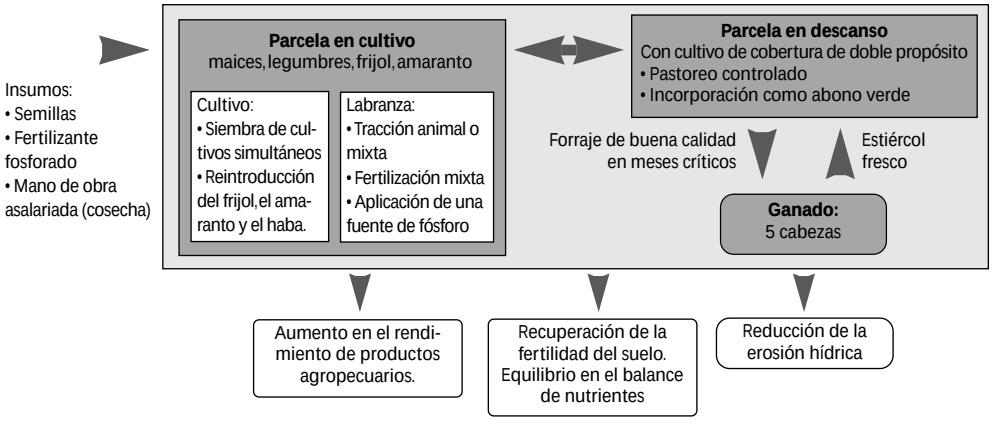
En el estudio de Casa Blancas las conclusiones sobre la sustentabilidad de los dos sistemas analizados sugieren que los sistemas comerciales, a pesar de tener una mayor productividad y rentabilidad económica, son más vulnerables a los cambios políticos (en cuanto a precios de garantía para el maíz) y ambientales producto de las estrategias de manejo (uso de fertilizantes, mayor grado de erosión, menor número de especies aprovechadas, etc.).

El producto final del proceso de evaluación no es la calificación de los sistemas, sino la identificación de aspectos positivos y negativos que deben ser impulsados o modificados, respectivamente.

Como recomendaciones, en este estudio se sugirió el desarrollo de sistemas alternativos que mejoraran la sustentabilidad de los sistemas de producción de maíz en la comunidad. El sistema de manejo alternativo retoma algunas de las estrategias utilizadas en ambos sistemas evaluados, concretamente recomienda la diversificación de los cultivos aprovechados, el uso mixto de fuentes orgánicas e inorgánicas de fertilización, la conservación de un hato de ganado de tamaño medio y la introducción de especies que permitan satisfacer las necesidades forrajeras del mismo (Figura 6).

Figura 6

Sistema alternativo de manejo año y vez para la Región Purhépecha, Michoacán, 1998



4. Conclusiones

Como se puede apreciar el marco MESMIS permitió analizar los sistemas de manejo de manera integral, identificando y monitoreando los aspectos de mayor relevancia para su sustentabilidad. Así mismo, el marco MESMIS otorgó la facultad de elaborar propuestas y recomendaciones específicas para cada caso con la finalidad de fortalecer tanto el perfil socioambiental de los sistemas de manejo de recursos naturales como el proceso mismo de evaluación.

El marco MESMIS puede desarrollarse con todo su potencial siempre y cuando el equipo que lo aplique trabaje verdaderamente de forma participativa y con un enfoque multidisciplinario. Además, el proceso de trabajo deberá ser cíclico, para poder hacer las

modificaciones pertinentes a los sistemas bajo estudio después de terminada la evaluación, y permeable, para poder aprender del propio ejercicio metodológico para evaluaciones futuras.

Cualquier marco metodológico que pretenda evaluar la sustentabilidad del manejo de recursos naturales, necesita ser constantemente aplicado a estudios de caso a fin de fortalecerlo identificando y modificando aquellos aspectos que presentan dificultades operativas.

Astier M, E Pérez Agis, F Mota García, OR Masera & C Alatorre (2000) El diseño de sistemas sustentables de maíz en la Región Purépecha. Mundiprensa. México.

Azar C, J Holmberg & K Lindgren (1996) Socio-ecological indicators for sustainability. Ecological Economics 18: 89-112.

De Camino VR & S Muller (1993) Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales. Bases para establecer indicadores. Serie documentos de Programas Nº 38. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - GTZ. 134 pp.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1994) FESLM: an International Framework for Evaluating Sustainable Land Management. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Soil Resources Report. 74 pp.

Harrington LW (1992) Measuring sustainability: Issues and alternatives. Journal for Farming Systems Research-Extension 3 (1): 1-20.

Harrington LW, P Jones & M Winograd (1994) Operationalizing sustainability: a total productivity approach. En: Land quality indicators conference. CIAT, 1-34. Cali, Colombia.

International Union for the Conservation of Nature (IUCN) (1997) Un enfoque para la evaluación del progreso hacia la sustentabilidad. Serie: herramientas y capacitación. Cambridge, Reino Unido: UICN - IDRC.

Masera O, M Astier & S López-Ridaura (1999) Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. Mundi-Prensa, México. 109 pp.

Rodríguez JS (1993) La fertilización de los cultivos. Un método racional. Colección en agricultura. Facultad de Agronomía. Pontífica Universidad Católica de Chile. 253 pp.

Shaw P (1996) Stand level concepts and indicators for certification of forest management. UBC-UPM Conference on the ecological, social and political issues of the certification of forest management. Univ. of British Columbia, Canadá - Univ. Pertanian, Malasia. pp. 25-58.

Syers JK, A Hamblin & E Pushparajah (1994) Development of indicators and thresholds for the evaluation of sustainable land management. En: 15th World Congress of Soil Science. Vol. 6a. Acapulco, México: INEGI/CNA. pp. 398-409.

Taylor DC, MZ Abidin, SM Nasir, MM Ghazali & EFC Chiew (1993) Creating a farmer sustainability index: A malaysian case study. American Journal of Alternative Agriculture 8: 175-84.

Tiscareño M, M Gallardo & M Velásquez (1997) Impacto de los métodos de labranza en la agricultura de ladera. En: Avances de investigación en labranza de conservación. Centro Nacional de Investigación para la Producción Sostenible - INIFAP. Libro técnico Nº 1.

World Commission on Environment and Development (WCED) (1987) From one earth to one world. Oxford, Reino Unido / Nueva York, EUA: Oxford University Press. 23 pp.

Aplicación del método multicriterio para valorar la sustentabilidad de diferentes alternativas productivas en los humedales de la Laguna Merín, Uruguay [1]

Gerardo Evia y Santiago J. Sarandón

Evia G & SJ Sarandón (2002) En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. Cap 22: 441-447

1. Introducción

A pesar que la sustentabilidad es un objetivo ampliamente aceptado por todos, desde que fue introducido en 1987 por la Comisión Brundtland (WCDE, 1987), aún no se ha traducido en aspectos prácticos.

Uno de los problemas para ello es la dificultad de hacer operativo el concepto (Bejarano Ávila, 1998) y definir, en la práctica, cuáles son las acciones y políticas que contribuyen a la sustentabilidad y que requisitos deben cumplirse para ello.

Algunos trabajos, como el de Smyth & Dumansky (1995) han intentado abordar este problema desarrollando un marco conceptual (FESLM) para el manejo sustentable del territorio el cual considera que se debe cumplir, satisfactoria y simultáneamente, con los siguientes requisitos

- Mantener o incrementar la producción/servicios (Productividad)
- Reducir el riesgo productivo (Seguridad).
- Proteger la calidad y el potencial de los recursos naturales y prevenir la degradación del suelo y el agua (Protección)
- Ser económicamente viable. (Viabilidad)
- Ser socialmente aceptable. (Aceptabilidad)

1 El presente artículo es una versión corregida y adaptada del trabajo original "Un ejercicio de aplicación de indicadores de sustentabilidad de diferentes alternativas productivas en los humedales de la laguna Merín" por Gerardo Evia en :Temas Clave Nº 12, Mayo 2000- CLAES-Montevideo, publicado como parte del proyecto sobre Agropecuaria y Ecología realizado por CLAES con apoyo de la Embajada Británica en Uruguay..

A su vez, desde la perspectiva de la preservación, Daly (1990) propone cuatro principios básicos:

El principio de la irreversibilidad cero: esto es, reducir a cero las intervenciones acumulativas y los daños irreversibles. El ejemplo por excelencia es el de la biodiversidad, debiendo impedirse la extinción de especies animales y vegetales.

El principio de la recolección sostenible: la tasa de extracción de recursos debe ser igual o inferior a la tasa de regeneración de esos recursos. Ejemplos de ello son el suelo, las especies silvestres y domesticadas, los bosques, las praderas etc.

El principio de la emisión sostenible: las tasas de emisión de residuos deben ser iguales a las capacidades naturales de asimilación de los ecosistemas donde se vuelcan esos residuos.

El principio de selección sostenible de tecnologías: se deben favorecer las tecnologías que aumenten la productividad de los recursos, pero asegurando su preservación.

Otras definiciones o conceptos de sustentabilidad hablan de mantener constante el capital natural, entendido este como las reservas (stocks) ambientales que proveen bienes y servicios en el futuro (Costanza & Daly, 1992; Harte, 1995). En este sentido, Costanza (1991) define sustentabilidad como "... la cantidad de consumo que puede mantenerse indefinidamente sin degradar las reservas de capital..." La idea que la sustentabilidad requiere mantener el capital constante puede ser interpretada de varias maneras, reflejando la división de la literatura económica-ecológica en 2 corrientes: la sustentabilidad débil y la sustentabilidad fuerte.

La sustentabilidad débil acepta un alto grado de sustitución entre el capital natural y el capital hecho por el hombre o manufacturado. El capital natural puede ser sustituido por capital manufacturado mientras el stock de recursos no disminuya por debajo de cierto valor crítico. La sustentabilidad fuerte, por el contrario, considera que el capital natural puede ser sustituido por capital manufacturado, sólo en algunos casos muy puntuales. En otras palabras, la elasticidad de sustitución es muy baja. La sustitución de capital natural por capital manufacturado está limitada por el grado en el cual el aumento en capital manufacturado requiere capital natural. Además, el capital natural cumple con otras funciones económicas y ambientales como ser soporte de vida, más que ser simplemente una provisión de insumos para el proceso de producción. Este, sin duda, puede ser el caso de la biodiversidad.

2. Evaluando la sustentabilidad de diferentes usos de la tierra

La multidimensión (económica, social, ecológica, productiva y temporal) de la sustentabilidad hace necesario el desarrollo de metodologías que permitan medir y valorar, de forma objetiva y clara, en qué medida se cumplen los requisitos antes mencionados.

Para ello diversos autores se han ocupado de desarrollar y perfeccionar sistemas de indicadores (Gayoso & Iroumé, 1991; Hammond *et al.*, 1995; Lewandowsky, 1999; Sarandón, 1999; Smyth & Dumansky, 1995; Gómez *et al.*,1996), entendidos estos

como "algo que hace claramente perceptible una tendencia o un fenómeno que no es inmediatamente ni fácilmente detectable, y que deben permitir comprender, sin ambigüedades, el estado de la sustentabilidad de un agroecosistema o los puntos críticos que ponen en peligro la misma" (Sarandón, 1998).

Los indicadores contribuyen a hacer operativo el concepto de desarrollo sustentable puesto que en ellos intervienen valores mensurables, lo que permite definir acciones concretas para corregir errores o desviaciones del objetivo deseado. A su vez, su uso permite evaluar, en qué medida un determinado sistema productivo cumple con los requisitos de sustentabilidad, cuáles son sus puntos críticos y como evoluciona a lo largo del tiempo. Sin embargo, tienen, por sí solos, algunas limitaciones cuando se desea comparar los efectos de diferentes alternativas productivas y políticas, para compatibilizar los objetivos ambientales (bien público), con los beneficios de los particulares derivados de la utilización de esos recursos. Un ejemplo claro de esta dificultad es el caso de la declaración de áreas protegidas en tierras privadas en Uruguay para conservar y proteger la biodiversidad. En este caso, el interés de los agricultores se contrapone con el interés de la comunidad. Existen varias posibilidades de uso de la tierra, una de las cuales es la agricultura. Lo que está claro es que una misma superficie de tierra no puede ser usada, simultáneamente, para dos fines diferentes y contrapuestos. El uso de estas tierras para agricultura presupone su inutilización como reservorio de biodiversidad y viceversa. ¿Cuál de estas alternativas es la mejor? Dentro de este proceso la tarea de los científicos sociales, agrónomos, economistas y ecólogos es proveer de métodos apropiados para identificar las posibles alternativas de elección y sus consecuencias (Zander & Kächele, 1999).

Para sortear estas dificultades hay dos posibilidades o caminos. Por un lado y dentro de la concepción de la economía neoclásica un análisis de costo-beneficio permitiría saber cuál de estas opciones es económicamente más deseable. Es decir, se debería evaluar si la ventaja económica de los productores al incrementar el área agrícola es mayor que el costo de destruir estas tierras como reservorio de biodiversidad. Este método tiene una ventaja: una sola respuesta o solución, pero varias desventajas. Entre ellas, que se debe traducir a unidades monetarias algo como la biodiversidad, que no cotiza en el mercado. Por otro lado, aunque existen metodologías para hacer esto (con severas limitaciones), el análisis costo-beneficio presupone que existe una sola medida de valor para todos los aspectos o bienes o un súpervalor y que mediante esa medida es posible llegar a una única clasificación del valor de las distintas opciones (Martínez Alier, 1996). Esto se contrapone con la idea que defiende la escuela de la economía ecológica, que considera que existe una pluralidad de valores en la evaluación de los posibles usos de la tierra y que no tiene sentido buscar una única solución.

Dentro de esta concepción se han desarrollado metodologías denominadas multicriterio, que ayudan a analizar una realidad teniendo en cuenta varios objetivos a la vez, de manera de encontrar alternativas satisfactorias desde distintos puntos de vista. El resultado final no es una única respuesta, sino varias posibilidades ponderadas de acuerdo a los criterios prevalecientes en la sociedad o en quienes tienen que tomar las decisiones. Este méto-

do es particularmente apropiado para proveer a quienes deben decidir, un amplio rango de información concerniente a la optimización de las diferentes opciones de uso de la tierra (Klauer *et al.*, 1999) El análisis multicriterio busca establecer los indicadores que señalan la satisfacción de cada objetivo y considerar el éxito relativo con que dichos objetivos son alcanzados por cada alternativa de decisión (Longo & Tomassini, 1996).

El presente trabajo ensaya y expone la metodología de análisis multicriterio aplicada a la valoración del uso de la tierra desde un punto de vista económico, productivo, social y ecológico, para un caso concreto en Uruguay. Se analizan sus resultados y visualizan sus alcances y limitaciones como herramienta para la toma de decisiones de política en materia de desarrollo sustentable. Este ejercicio de análisis no sólo ofrece criterios de gestión para un área, sino que busca a la vez ampliar y promover el uso de estas metodologías en Uruguay.

3. Descripción del problema

En Uruguay, las planicies de la cuenca de la Laguna Merín son asiento de alrededor del 60% del área de cultivo del arroz (Evia 1996), uno de los principales rubros de exportación del Uruguay. Esta área presenta, al mismo tiempo, un rico entramado de ecosistemas, dominado por humedales, asociados a praderas y bosques nativos, que albergan una diversa flora y fauna (Evia & Gudynas, 2000).

Parte del área de la cuenca está protegida por convenios internacionales y por normas nacionales que han declarado áreas protegidas, sobre las que se aplican restricciones de uso a tierras de particulares con fines de conservación.

Existen aproximadamente 55.000 has. ubicadas en las llanuras bajas afectadas como Área Protegida (AP) en la costa de la Laguna Merín. Las llanuras bajas que bordean la margen occidental de la Laguna Merín corresponden a unidades de paisaje complejas que presentan puntas arenosas, lagunas "guachas", crestas de playa, dunas lagunares y deltas en las desembocaduras de los ríos.

Bordeando las llanuras bajas de la Laguna Merín hacia occidente en casi toda su extensión, se encuentran las llamadas llanuras altas que ocupan una superficie muy importante y se encuentran por encima de los niveles de inundación de la laguna. La vegetación natural en las llanuras altas podría definirse como formaciones uliginosas, pradera estival, pajonales y caraguatales. Debido a la actividad arrocera imperante en la zona por la aptitud natural de los suelos, y la disponibilidad de agua para riego, prácticamente no existen tierras que alguna vez no hayan sido incorporadas a la agricultura, lo que generó extensas modificaciones sobre los ambientes naturales originales

Actualmente, la mayoría de los establecimientos de la zona poseen tierras sobre las llanuras altas y bajas; sobre la zona alta se cultiva arroz, en muchos casos en rotación con mejoramientos forrajeros (praderas con leguminosas en cobertura) complementándose con ganadería extensiva, generalmente cría, en la zona baja.

Problemas económicos internos y externos determinan un deterioro de la situación de los productores agropecuarios. Una de las estrategias para mejorar el resultado de las empresas agropecuarias es la de aumentar la escala (el área) dedicada al cultivo del arroz como forma de maximizar el uso de las inversiones existentes (infraestructura de riego). Existe disponibilidad de agua para riego de la Laguna Merín y tierras potencialmente aptas dentro del Área Protegida que corresponde a las llanuras bajas, por lo cual los productores presionan para cultivar estas zonas bajas.

Esta situación ha planteado una oposición entre una estrategia de uso agropecuario por un lado, y la necesidad de reducir los impactos ambientales y asegurar medidas de protección específica, por el otro. En términos de sustentabilidad se trata de un conflicto entre la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes (económicas) y las de las generaciones futuras (la conservación de la biodiversidad). Esta oposición ha devenido en conflictos recurrentes. Lamentablemente, ha prevalecido ese tipo de debate siendo pocos los trabajos que permiten articular los usos productivos con la conservación.

Por lo tanto, el presente trabajo pretende analizar, mediante la aplicación de un método multicriterio y el uso de indicadores, la sustentabilidad de diferentes alternativas productivas con el objetivo de aportar elementos para la toma de decisiones en materia de gestión de las Áreas Protegidas de la Laguna Merín.

La política de prohibición aplicada por el Estado de cultivar en las llanuras bajas, se utilizaba hasta ahora, con el objetivo de conservación de la diversidad biológica; sin embargo, hasta el momento, no se ha analizado como incide esa política sobre los demás componentes de la sustentabilidad del sistema productivo-territorial en que se encuentra el Área Protegida.

La alternativa de habilitar parte de las tierras aptas para el cultivo de arroz en rotación con pasturas, dentro del AP permitiría aumentar la escala de producción mejorando el ingreso neto, disminuir el período de retorno de cultivo mejorando las rotaciones y maximizar la eficiencia en utilización del recurso agua disponible en abundancia en el área[1] . Sin embargo, esto implicaría un costo ecológico debido a la pérdida de diversidad biológica por la conversión de esos ecosistemas a la agricultura.

Las preguntas que nos planteamos serían: (1) ¿Cuáles son los costos, en términos de sustentabilidad, de la actual política de conservación de diversidad biológica? y (2) ¿Existen otras alternativas que permitan contemplar mejor los diversos objetivos de sustentabilidad al mismo tiempo?

Para intentar contestarlas se identificaron indicadores y se utilizó el método de análisis multicriterio para comparar la sustentabilidad de un sistema de producción característico de esa zona, funcionando con las limitantes actuales en términos de prohibición

[1] Debe tenerse en cuenta que en el contexto nacional el crecimiento del área dedicada al cultivo de arroz está limitada por la disponibilidad de fuentes de agua para regar nuevas tierras

de expandir el área agrícola sobre la zona baja, con diferentes alternativas que incluyen la posibilidad de incorporar nuevas tierras del Área Protegida para uso agrícola.

4. Características del sistema productivo analizado

Para la realización del análisis se tomaron como base de cálculo los datos de registros de uso del suelo, productivos y económicos de un establecimiento ubicado en la región de Planicies del Este con una distribución de suelos similar a los de un establecimiento tipo de las costas de la laguna.

El caso es un establecimiento agrícola ganadero, empresa familiar que explota una superficie total de 2865has. útiles en propiedad. Aproximadamente el 60% de la superficie se encuentra en la llanura alta, mientras que el 40% restante se ubica sobre llanuras bajas. El índice de CONEAT[2] promedio es de 65, los suelos dominantes en la planicie alta son Planosoles y en la llanura baja Gleysoles.

En la tabla 1 se detalla el uso del suelo. El sistema 1 representa el caso real, mientras que los sistemas 2, 3, 4 y 5 son los sistemas alternativos propuestos. La rotación agrícola-ganadera básica consiste en 2 años de arroz / 4-5 años de descanso bajo praderas sembradas en cobertura con avión sobre rastrojo. Se utilizan sistemas de laboreo reducido, con laboreos de verano en los que se siembran ocasionalmente verdeos de invierno. El arroz se riega con dos levantes electrificados con agua del río Cebollatí. El subsistema ganadero es un ciclo completo con invernada y mantiene una dotación promedio de 0,84 UG/ha. La cría se realiza fundamentalmente en los campos naturales en la zona baja y la recría e invernada en las coberturas y praderas en la zona alta.

5. Metodología de análisis

Definición de sustentabilidad adoptada: "es la medida de la probabilidad de que un uso particular de la tierra permanezca, ecológica, económica y socialmente apropiada para una localidad por un período de tiempo significativo" (Smyth & Dumansky, 1995).

La comparación de alternativas se realizó según el método multicriterio adoptado en el trabajo de Longo & Tomassini, (1996). Los pasos previstos por la metodología son: (1) Definir los objetivos a ser evaluados y configurar así un sistema de objetivos. (2) Derivar el criterio de medición o de evaluación para el cumplimiento de los objetivos (construcción de

[2] Indice CONEAT= Indice relativo ficto de la productividad física de la tierra, en términos de producción de carne y lana en condiciones de campo natural, utilizado en Uruguay. Indice medio del país =100.

indicadores). (3) Medir el cumplimiento de los objetivos para el caso en estudio y armar una matriz de datos. (4) Transformar la expresión medida en una expresión de valor y armar una matriz de valores. (5) Ponderar el valor y registrarlo en nueva matriz, que incluya los objetivos con las ponderaciones alcanzadas de acuerdo con el sistema de valores de utilidad parcial. Se arma así una matriz de utilidad parcial. (6) Agregar el valor de utilidad parcial al valor de utilidad total de los objetivos considerados como acciones y decisiones alternativas.

5.1. Sistema de objetivos

Se tomaron en cuenta los objetivos definidos como requisitos de sustentabilidad por Smyth & Dumansky (1995): Productividad, Seguridad, Protección, Viabilidad y Aceptabilidad.

5.2. Construcción de indicadores

Una vez establecidos los objetivos, se desarrollaron los siguientes indicadores de sustentabilidad, relevantes para el cumplimiento de los mismos:

Objetivo 1: Productividad:

Fundamento: Se considera que un sistema será sustentable si logra mantener o aumentar la productividad, siempre que esto no esté asociado a una degradación de los recursos naturales. Para valorar este indicador se tomaron la producción total de arroz y de carne en los diferentes sistemas. Para el cálculo de los datos se proyectaron los valores de producción obtenidos del caso real. La producción de arroz se calculó sobre la base de un rendimiento de 133 bolsas secas de 50Kg. por hectárea multiplicándola por las hectáreas que se proyectaban sembrar por año en los diferentes sistemas. Para el caso de la carne se tomó la producción de 88Kg. de carne por hectárea producidos en el caso real, asignándose un valor de 150kg/ha. para la producción sobre mejoramientos y 39kg./ha para el campo natural obteniéndose los valores de producción de los distintos sistemas según los diferentes porcentajes de mejoramientos proyectados. A efectos de simplificar los cálculos se eliminó la variable de producción de semilla fina.
Indicadores: Producción de carne: Ton./año de producción de carne
Producción de arroz: Ton./año de producción de arroz
Son indicadores de tipo directo, a mayor valor, más sustentable.

Objetivo 2: Seguridad:

Fundamento: Los sistemas serán más sustentables si logran disminuir el riesgo de pérdida de producción. En este caso, se tuvo en cuenta la probabilidad de inundaciones de

la Laguna Merín para las tierras de las llanuras bajas. Los datos se basan en la frecuencia de retorno del 10% de niveles de la Laguna Merín superiores a los 3 m Warthon que son los que determinan la inundación de la llanura baja para el caso considerado (Torres, 1998). De acuerdo a los registros históricos, es probable que uno de cada 10 años estas llanuras se inunden.

Indicador: riesgo de inundación (%): (10% * % de área inundable integrada a la rotación agrícola) * 100

Es un indicador inverso: a mayor valor, menor sustentabilidad.

NOTA: Este indicador podría transformarse en directo, si se considerara la *seguridad productiva:* 1 - (10% * % de área inundable integrada a la rotación agrícola). Representaría el área total, menos el área inundable o riesgosa. Indicaría que proporción del área es segura.

Objetivo 3: Protección de recursos:

Para la satisfacción de este criterio ecológico, se consideró la protección del suelo, agua y diversidad biológica. Se considera que los sistemas serán más sustentables si conservan los recursos productivos. Por tratarse de tierras planas, el riesgo de erosión se consideró como nulo. Se desarrollaron dos indicadores.

1. Uso agrícola y rotaciones: *Fundamento:* las rotaciones con mayores períodos de descanso, con praderas de leguminosas intercaladas disminuyen el deterioro del suelo permitiendo la incorporación de nitrógeno al mismo y, a su vez, determinan un menor uso de pesticidas (herbicidas y fungicidas fundamentalmente). Dado que la contaminación por herbicidas puede impactar tanto sobre el suelo como sobre el agua, dependiendo del cociente de partición de los productos de degradación de los agroquímicos, este parámetro también será un indicador de la protección del recurso agua.

Indicador: índice de rotación: (superficie de praderas de 4 o más años de duración/ superficie total que integra la rotación agrícola) x 100

Indicador directo: a mayor valor, más sustentable.

2. Conservación de tierras vírgenes: *Fundamento:* La conversión agrícola de las tierras de las llanuras bajas implica la pérdida de diversidad biológica por desaparición de especies nativas en un área representativa de ecosistemas relictuales para el país. Una mayor superficie de nuevas tierras incorporadas a la rotación implica menor protección de la diversidad biológica.

Por otra parte y, a pesar que el riesgo de erosión se considera nulo, trabajos realizados en el departamento de Rocha (Durán *et al.*, 1998) indican que la estabilidad estructural de los suelos cultivados sobre bañados drenados es hasta 10 veces inferior a la de los suelos no cultivados. Por lo tanto, la menor incorporación de estos bañados a la agricul-

tura también estaría indicando una conservación en el tiempo de la aptitud física del suelo. Como en las zonas altas la estructura original de los suelos es bajísima en condiciones naturales (Altamirano, com. personal), se asume que la evolución de este indicador es indiferente. El mismo refleja dos aspectos de la protección de recursos: conservación de la aptitud física de los suelos y conservación de diversidad biológica.

Indicador: Conservación de campo natural: % de campo natural que se conserva como tal, considerando a las tierras de las llanuras bajas que forman parte del área protegida.

Es un indicador directo: a mayor valor, mayor sustentabilidad.

Objetivo 4: Viabilidad económica

Fundamento: una actividad será sustentable sólo si logra satisfacer las necesidades económicas de los agricultores.

Se tomó como indicador el resultado o ingreso neto proyectado para cada una de las alternativas, expresado en dólares americanos por hectárea / año referidos a las Has. totales de superficie útil (tabla 1). Se asume que el escenario de precios de insumos y productos se mantiene constante a lo largo del tiempo. Los precios de producto corresponden a los precios de venta del caso real para el ejercicio 96/97 (U$10,13/bolsa de arroz de 50kg) y (U$0,68/ kg de carne en pie).

Para la proyección de las distintas alternativas se tomó como base el margen bruto por ha. de la actividad arrocera obtenido en el caso real, (U$651/ha) correspondiente al ejercicio 96/97) y los valores de márgenes brutos de producción de carne por ha. de establecimientos de la zona con similares proporciones de campo mejorado a las de las alternativas proyectadas. Los márgenes brutos por hectárea de ambas actividades se multiplicaron por las hectáreas dedicadas a cada actividad en cada alternativa. A los valores así obtenidos se le descontaron los gastos de estructura más los impuestos. En el caso de las alternativas que implicaban un aumento del área arrocera se descontó un porcentaje adicional por concepto de depreciación de maquinaria calculando que el aumento del área arrocera implicaba un incremento de la misma. La depreciación se calculó estimándose el porcentaje adicional en función del porcentaje de aumento del área arrocera. No se consideraron costos financieros adicionales.

Indicador: Ingreso Neto = (Margen bruto arroz x has con arroz + Margen bruto carne x has ganadería) - (Costos fijos + Impuestos + depreciación adicional de maquinaria).

Indicador directo: a mayor valor, más sustentable.

Objetivo 5: Aceptabilidad

Fundamento: se considera que habrá una mayor aceptabilidad social si las actividades incorporan mano de obra y esto está asociado positivamente con la sustentabilidad.

Se tomó como dato el promedio de trabajadores empleados por ha. en la producción de arroz, (1 persona cada 33has.) no considerándose como variable el personal dedicado a la ganadería puesto que la variación es irrelevante en la escala considerada.

Indicador: ocupación de mano de obra: número de personas empleadas en cada alternativa. Es un indicador directo.

5.3. Matriz de datos

Los datos se obtuvieron de registros históricos del caso real analizado. Se proyectó la evolución del sistema productivo actual (Sistema 1) y se comparó con otras 4 alternativas posibles. Los 5 sistemas resultantes se caracterizan como sigue: para los sistemas 2, 3 y 4 se planteó la ampliación del área dedicada al cultivo de arroz incorporando a la rotación agrícola un 25, 50 y 75%, respectivamente de las tierras aptas de las llanuras bajas incluidas consideradas como Área Protegida. El sistema 5 considera un aumento del área dedicada al cultivo de arroz a través de la intensificación de la rotación en la zona alta, sin afectar el Área Protegida (Tabla 1).

Con el valor de los 7 indicadores, para cada una de las alternativas, en sus unidades originales, se construyó una matriz de datos (Tabla 2).

Para el indicador *índice de rotación,* el sistema 1 tiene un valor del 66% que corresponde a la superficie que integra la rotación agrícola como praderas de 1 a 4 años, de manera que un campo, luego de dos años de arroz, permanece 4 años en descanso como pradera. Por el contrario, en el sistema 5, toda la superficie cultivada con arroz tiene, necesariamente períodos de descanso menores a cuatro años. En este caso el valor del indicador es cero.

Sobre la *conservación de campo natural,* en los sistemas 1 y 5 los valores de este indicador son máximos puesto que en ellos se asume una intervención nula sobre los campos de las llanuras bajas. Por el contrario en el Sistema 4 el valor de este indicador es el mínimo por cuanto se conserva solo el 25% de campos naturales.

Riesgo productivo: este es nulo en el caso de los sistemas 1 y 5 por cuanto en estos no se cultiva sobre las llanuras bajas mientras que es máximo en el sistema 4 en el que se cultiva arroz durante mayor tiempo y en mayor área sobre zonas potencialmente inundables. Debe recordarse que el valor del indicador es inverso a lo deseable en términos de sustentabilidad y se tomó en cuenta al realizar las ponderaciones en la matriz de valores. En lo referido a la *ocupación de mano de obra,* el Sistema 4 presenta los mayores valores por ser el que realiza mayor área de cultivo de arroz en todos los años.

Los valores de *producción de carne y arroz y el ingreso neto,* calculados para cada alternativa, se detallan en la Tabla 2.

5.4. Matriz de valores

Posteriormente al cálculo de los indicadores, se otorgó, dentro de cada variable un

Tabla 1

Superficies y porcentajes de uso de la tierra, para las diferentes alternativas de uso del suelo en la zona de la Laguna Merín, Uruguay

	Sistema 1		**Sistema 2**		**Sistema 3**		**Sistema 4**		Sistema 5	
	has	%	has	%	has	%	has	%	has	%
Superficie útil	2865	100	2865	100	2865	100	2865	100	2865	100
Arroz	582	20,3	859	30	859	30	1147	40	859	30
Sup pastoreo	2086	72,9	2005		2005		1718		2005	
Praderas	917	32,1	1146	40	1432	50	1432	50	859	30
Campo Natural	1169	40,8	859	30	573	20	286	10	1146	40
Semilla Fina	197	6,8	0	0	0	0	0	0	0	0

puntaje de 100 a aquel valor que representaba la mejor situación observada (más sus-

Tabla 2

Matriz de datos

Objetivos	Producción Tons x año		Riesgo (%)	Indice de rotación	Conserv. campo natural	Ingreso Neto U$/ha	Personas ocupadas
	Carne	Arroz					
Sistema 1	184	3870	0	66,6 %	100 %	111	17,6
Sistema 2	205	5712	2,5	57,1 %	75 %	149	26
Sistema 3	237	5712	5	62,5 %	50 %	153	26
Sistema 4	226	7627	7,5	55 %	25 %	233	34,75
Sistema 5	174	5712	0	0	100 %	146	26

tentable) y un puntaje de 0 a la que presentaba la peor ubicación. El resto de los valores se obtuvieron interpolando entre esos dos extremos. Luego, se volcaron los datos en una matriz de valores (Tabla 3).

5.5. Utilidades parciales y totales

Los 7 indicadores de la Tabla 3 se agruparon sobre la base de los 5 objetivos iniciales. Los de utilidad ecológica se obtuvieron sumando horizontalmente los valores correspondientes a los indicadores de grado de rotación y conservación de campo natural de la matriz de valores, igualando a 100 el valor más alto y a 0 el más bajo, interpolando luego entre estos dos extremos los demás valores. Se consideró que ambos eran igualmente importantes. Para la producción se siguió el mismo procedimiento sumando los valores de producción de carne y arroz (Tabla 4).

Estos valores, junto con los otros, permitieron armar una matriz de utilidades par-

ciales y totales (Tabla 5), donde se presentan cinco columnas correspondientes a la valoración relativa en el cumplimiento de los diferentes objetivos. La sexta columna de la derecha expresa la utilidad o sustentabilidad total resultante para cada una de las alternativas. Para ello se promediaron los valores de utilidad para cada alternativa. En la última columna se muestra el lugar que le corresponde a cada una de las alternativas a modo de "ranking" entre ellas, donde 1 es la mejor opción y 5 la peor.

Esto permite visualizar el aporte de cada una de las alternativas propuestas a la sustentabilidad total, en términos de cumplimiento de los objetivos propuestos de acuerdo a los indicadores seleccionados. También señala cual sería la alternativa que mejor cumpliría con el objetivo global, siempre que se asigne un criterio de indiferencia para valorar los distintos componentes, esto es valorando por igual cada uno de los objetivos de la sustentabilidad.

De acuerdo a este criterio, e1 Sistema 1 (caso real) resultó ubicado en último lugar a pesar de tener los mejores valores en términos de utilidad ecológica y seguridad, mientras que el Sistema 4 resultó el mejor ubicado pese a presentar la peor valoración de dichas utilidades. El Sistema 5, que parecería representar la tendencia a desarrollarse en la zona, se ubicó en penúltimo lugar.

Tabla 3

Matriz de valores. Los valores se redondearon para simplificar la lectura

Objetivos	Producción Tons x año		Riesgo (%)	Indice de rotación	Conserv. campo natural	Ingreso Neto U$/ha	Personas ocupadas
	Carne	Arroz					
Sistema 1	16	0	100	100	100	0	0
Sistema 2	50	49	67	87	67	31	49
Sistema 3	100	49	33	95	33	34	48
Sistema 4	82	100	0	83	0	100	100
Sistema 5	0	49	100	0	100	29	100

Tabla 4

Calculos de utilidad ecológica y productiva. Los valores se redondearon para simplificar la lectura

Objetivos	Objetivo ecológico				Objetivo Productivo			
	Rotación	Conserv	Suma	Interp	carne	arroz	suma	Interp.
Sistema 1	100	100	200	100	16	0	16	0
Sistema 2	87	67	154	53	50	49	99	83
Sistema 3	95	33	128	36	100	49	149	81
Sistema 4	83	0	83	0	81	100	181	100
Sistema 5	0	100	100	15	0	49	49	20

Tabla 5

Utilidades parciales y totales

Objetivo	Productividad (A)	Seguridad (B)	Protección (ecológico) (C)	Viabilidad (económico) (D)	Aceptabilidad (social) (E)	(A+B+C+D+E) /5	posición
Sistema 1	0	100	100	0	0	40	5
Sistema 2	83,4	66,6	53,4	31,1	49,4	56,78	2
Sistema 3	80,8	33,3	36,06	34,4	49,4	46,7	3
Sistema 4	100	0	0	100	100	60	1
Sistema 5	20,2	100	14,5	28,9	49,4	42,6	4

5.6. Utilidades preferentes

La posición relativa de las alternativas presentada en la tabla 5, es válida, siempre y cuando se considere que todos los objetivos de la sustentabilidad son igualmente importantes. Pero generalmente esto no es así. En la Tabla 6 se observa como pueden variar las ubicaciones de las diferentes alternativas, según se asigne diferente prioridad a los objetivos. De esa manera, si el productor o la sociedad valoraran el doble el aspecto ecológico, el de seguridad o el económico, por sobre el resto, se multiplica por un factor de dos la utilidad parcial deseada, y sumando luego las demás utilidades parciales se las promedia. En este caso, se ponderaron doblemente los criterios ecológicos, económicos y de seguridad.

Tabla 6

Utilidades Preferentes. Los valores se redondearon para simplificar la lectura

	Preferencia Ecológica		Preferencia Seguridad		Preferencia Económica	
	(A+B+2C+D+E)/6 posición		(A+2B+C+D+E)/6 posic.		(A+B+C+2D+E)/6 posición	
Sistema 1	58	1	50	3	33	5
Sistema 2	56	2	58	1	53	2
Sistema 3	44	4	45	4	45	3
Sistema 4	50	3	50	3	67	1
Sistema 5	38	5	52	2	42	4

6. Análisis y discusión

De acuerdo a la metodología presentada y a los criterios elegidos, el Sistema 1 (caso real) resultó último bajo el criterio de indiferencia, pero resultó primero bajo el de pre-

ferencia ecológica comparado con los demás sistemas. El Sistema 4 resultó primero bajo el criterio de indiferencia y tercero bajo el criterio de preferencia ecológica. Este sistema sería el que implicaría la mayor intervención sobre el área protegida. Si se prioriza la seguridad, por sobre los demás objetivos, el Sistema 2 pasa a ocupar el primer lugar aunque este sistema implica integrar parte de las tierras bajas inundables.

Se destaca como interesante que el Sistema 5, aunque no implica convertir tierras del área protegida a la agricultura, resulta en último lugar bajo el criterio de preferencia ecológica y en el penúltimo bajo los criterios de indiferencia y de preferencia económica. De hecho, este es el sistema que de alguna manera tiende a generalizarse en el área de influencia como respuesta a la necesidad de mejorar los resultados económicos de las empresas frente a la prohibición de incorporar nuevas tierras de la zona baja (Área Protegida). Esto es, incrementar la intensidad del cultivo agrícola en la zona alta con los impactos ambientales negativos consecuentes.

Desde una perspectiva de desarrollo sustentable, y, de acuerdo al resultado de la aplicación de este modelo, parecería al menos razonable, habilitar o permitir la incorporación a la rotación agrícola de parte de las tierras aptas del Área Protegida como forma de mejorar la sustentabilidad. El Sistema 2, que implica la conversión del 25% de campos nuevos parecería ser la mejor alternativa en ese sentido ya que se presenta como segunda mejor alternativa bajo los criterios de indiferencia, preferencia ecológica, preferencia económica y primero cuando se prioriza la seguridad. También presenta buenos valores en cuanto a utilidad social y producción física según los indicadores elegidos.

Un aspecto clave que debe considerarse en esta y las otras opciones es evaluar las posibles consecuencias en materia de extinción de especies. Si ésta fuera una consecuencia de la implementación de algún sistema, no se estaría cumpliendo el principio de la irreversibilidad cero. Si se adopta el principio de la sustentabilidad fuerte, tampoco podría admitirse la sustitución de capital natural (biodiversidad) por una mayor producción y/o un mayor ingreso. Para ello es necesario avanzar en la investigación sobre cuál es el área mínima necesaria que permite asegurar la conservación de especies *in situ.* Este punto es esencial: la decisión de dejar, como área protegida, una superficie mayor que la realmente necesaria para conservar la biodiversidad, aunque resulta ecológicamente adecuada, es económicamente indeseable y perjudicial para los productores. Es decir, se favorece a las generaciones futuras, pero a costa del bienestar de las presentes. Por otro lado, el uso agrícola de una superficie mayor que la necesaria limitaría la posibilidad de uso de estas mismas tierras para conservar la biodiversidad; esto sería económicamente deseable (en el corto plazo) pero ecológicamente inviable. De todas formas, y ante la duda y el hecho del carácter irreversible que implica la pérdida de la biodiversidad, uno podría ponderar el doble o más al indicador relacionado con el mantenimiento de la biodiversidad que a los otros, de manera de cubrirse de esta incertidumbre. Porque, como ha dicho Georgescu-Roegen (1979), (citado por Martinez Alier, 1996) más que buscar maximizar las utilidades, de lo que se trata es de minimizar el arrepentimiento futuro.

De todos modos, si se decidiese el uso agrícola de estas tierras, este debería estar basado en un tipo de agricultura que respete al máximo posible la calidad de esos sistemas haciendo un uso sostenible de las mismas mediante el empleo de tecnologías que busquen disminuir o eliminar el uso de agroquímicos y prácticas que puedan degradarlas. La agroecología ofrece alternativas para el manejo sustentable de agroecosistemas

7. Alcances y limitaciones de la metodología

El modelo utilizado resulta una herramienta interesante para evaluar objetivos y comparar alternativas de manejo permitiendo incorporar aspectos cualitativos en un análisis económico.

Sin embargo, está claro que los resultados alcanzados dependen totalmente de los criterios elegidos como objetivos de sustentabilidad y, particularmente, de los criterios usados para medir el cumplimiento de los mismos (indicadores). Parece interesante plantearse cuales serían los resultados si los criterios hubieran sido otros.

Una limitación es que al ordenar las alternativas presentadas, aparecen como óptimas sólo aquellas que resultaron mejores dentro del grupo analizado, pudiendo existir otras que no han sido consideradas. Por lo tanto, para que el método realmente optimice objetivos, se debe asegurar que queden involucradas todas las alternativas existentes (Longo & Tomassini 1996).

La etapa crítica para el planteo de la metodología corresponde a la selección y ponderación de los indicadores. Si el criterio de elección es correcto, el modelo puede ser muy útil para la comparación de alternativas. Por lo tanto, es imprescindible, para que la aplicación del modelo sea exitosa, contar con criterios claros de evaluación de objetivos. La dificultad de ponderar los indicadores, (algo que, por otra parte, resulta inevitable), puede ser abordada a través de la consulta con un equipo multidisciplinario de expertos, donde el peso relativo o importancia de cada indicador se determine por consenso, tal como se presenta en el trabajo de Gayoso & Iroumé (1991). Sin embargo, es esencial para que las alternativas sean viables, la participación de los agentes afectados por las posibles decisiones de uso de la tierra. De esta manera, los agricultores deberían intervenir para expresar sus ideas acerca del peso relativo de los distintos objetivos y la elección de los indicadores que expresan realmente lo que ellos consideran importante. Un problema de esta metodología es que, como sucede en este caso, puede ocurrir que no todos los interesados esten presentes para discutir la propuesta o usos alternativos de tierras. Sobre todo si ello afecta a las generaciones futuras. Ellos no pueden expresar sus opiniones, porque aún no han nacido. Es entonces el Estado que debe velar por ellos, incluso, a veces, en detrimento de las actuales generaciones.

Un problema adicional es que, en general, no se cuenta con indicadores unánimemente reconocidos y aceptados para evaluar la sustentabilidad de agroecosistemas y mucho menos en un contexto que involucra Áreas Protegidas con fines de conservar biodiversidad. En ese sentido todos los indicadores usados en este trabajo pueden ser discutidos y cuestionados en su validez e importancia relativa.

Como ejemplo debe señalarse que no han sido tenidos en cuenta los aspectos vinculados a la variación de precios e insumos a lo largo del tiempo lo cual puede hacer cambiar los términos de los ingresos. El indicador para valorar la rotación también podría haber sido otro, por ejemplo años agrícolas en razón de los años totales analizados. También debe señalarse que para los cálculos se han hecho algunas extrapolaciones de datos obtenidos en otras regiones o establecimientos que, si bien son similares, pueden no reflejar exactamente la realidad analizada.

Lo anterior no hace sino reforzar la necesidad de que los científicos e investigadores acuerden y profundicen en la definición de criterios rigurosos para la realización de este tipo de evaluaciones.

8. Conclusiones

Finalmente cabe una reflexión sobre la importancia del uso de estas u otras metodologías, para permitir hacer operativo el concepto de desarrollo sustentable, articulando las políticas de conservación con las de producción. Es imprescindible que cuando nos refiramos a la sustentabilidad de tal o cual actividad, proyecto o política de desarrollo, sepamos a que nos referimos con ello, y podamos así cuantificar y evaluar en qué medida los resultados de nuestras acciones están contribuyendo o no al objetivo perseguido. Por lo tanto, para que esas discusiones se muevan más allá de las meras opiniones son indispensables los aportes de los indicadores.

Agradecimientos. Agradecemos especialmente al Ing.Agr. Alfredo Altamirano, por sus aportes sobre la temática vinculada a suelos y a Eduardo Gudynas, por sus aportes y comentarios generales.

Bejarano Ávila JA (1998) Un marco Institucional para la gestión del medio ambiente y para la sostenibilidad agrícola. En Agricultura, Medio Ambiente y Pobreza rural en América Latina. LG Reca y RG Echeverría (Comp.) Inst Int de Inv. sobre Política Agrarias (IFPRI), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 191-205.

Costanza R (1991) Ecological economics: a research agenda. Struct. Change Econ. Dyn. 2:335-342. In Harte (1995) Ecology, sustentability and environment as capital. Ecol. Economics, 15:157-164.

Costanza R & HE Daly (1992) Natural capital and sustainable development. Conserv. Biol., 6:37-46. In Harte (1995) Ecology, sustentability and environment as capital. Ecol. Economics, 15:157-164.

Daly HE (1990) Operational principles for sustainable development. Ecological Economics, 2 (1): 1-6.

Durán A, Silva & A Ruiz (1998) Impacto productivo del cultivo de arroz sobre suelos de bañados: Productividad y Conservación. Documentos de Trabajo, No 16. Probides y Facultad de Agronomía, Montevideo.

Evia G & E Gudynas (2000) Ecología del Paisaje en Uruguay-Aportes para la Conservación de la Diversidad Biológica. DINAMA, AECI y Junta de Andalucía. Sevilla.

Evia. G (1996) Marco agrícola productivo del cultivo del arroz en Uruguay. Estudios en Ecología Social. CLAES 4:3-15. Montevideo.

Gayoso J & A Iroumé (1991) Metodología para estimar la fragilidad de terrenos forestales. Medio Ambiente 11(2): 13-24.

Georgescu-Roegen N (1979) Comments on the papers by Daly and Stglitz. En V. Kerry Smith, Scarcity and Growth reconsidered, John Hopkins Press, London, 1979:95-105.

Gomez HA, D Swete Kelly, JK Syers & KJ Coughlan (1996) Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. Soil Science Society of America. Methods for Assessing Soil Quality, SSSA Special Publication 49 Pag 401-410.

Hammond A, A Adrianse, E Rodenburg, D Bryant & R Woodward (1995) Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. World Resource Institute. Washington. USA. pp. 42

Harte HJ (1995) Ecology, sustainability, and environment as capital. Ecological Economics. 15: 157-164.

Klauer B, F Messner & F Herzog (1999) Supporting decisions on conflicting land-uses: an Integrated Ecological-economic approach. UFZ-Discussion Papers. Department of Ecological Economics and Environmental Sociology (OEKUS), Leipzing, Germany: 15pp.

Lewandowski I, M Hardtlein & M Kaltschmitt (1999) Sustainable crop production: definition and methodological approach for assessing and implementing sustainability. Crop Sci 39:184-193.

Longo de Tomasini L & H Tomasini (1996) Uso de un modelo multicriterio para valorar el mejor manejo Económico y Ecológico de la Tierra Agrícola. Revista Argentina de Economía Agraria. Págs. 3-11.

Martinez Alier J (1996) Curso de Economía Ecológica. Instituto Latinoamericano de Ecología Social, Sociedade Brasileira de Economía Ecológica- ECO-ECO. Curso de Pos-graduacao em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade. CPDA/UFRRJ, 62 pp.

Sarandón SJ (1998) El desarrollo y uso de indicadores de sustentabilidad: una necesidad para la evaluación de la agricultura orgánica. XII Conferencia Científica y 2a Exhibición Mundial IFOAM, Buenos Aires, Argentina, Noviembre de 1998.

Sarandón SJ (1999) Desarrollo y uso de indicadores de sustentabilidad. Seminario-Taller Evaluación de la sustentabilidad en Agroecosistemas. Montevideo, Julio 2000.

Smyth AJ & J Dumansky (1995) A Framework for Evaluating Sustainable Land Management. Canadian J. Soil Sci. 75: 401-406.

Torres R (1998) Niveles de la Laguna Merín. Revista Arroz Nº 15, Montevideo.

WCED (1987) Our common future. Oxford Univ. Press, Oxford.

Zander P & H Kächele (1999) Modeling multiple objectives of land use for sustainable development. Agricultural Systems, 59:311-325.

La investigación y formación de profesionales en agroecología para una agricultura sustentable: El rol de la Universidad

Santiago J. Sarandón y Guillermo M. Hang

1. Introducción

Este capítulo no pretende agotar un tema tan extenso, complejo y controvertido, sino aportar algunas reflexiones y compartir una serie de interrogantes que surgen al abordar la problemática de la investigación en agroecología.

El sólo hecho de hablar de los retos y desafíos de la "investigación en agroecología" presupone la existencia de algunas diferencias entre el tipo de investigación que se ha realizado hasta el presente (clásica o convencional) en el campo de la agronomía, y el que debería realizarse según el enfoque de la agroecología. Existe consenso creciente acerca de que el tipo de investigación, tal cual se ha realizado en grandes estaciones experimentales o en las Universidades, no ha sido adecuado para resolver los complejos problemas inherentes al manejo de los agroecosistemas. Los resultados de esta investigación y las tecnologías resultantes están siendo cuestionados en diferentes ámbitos. ¿Cómo y por qué, entonces, se ha desarrollado, difundido y generalizado este tipo de investigación?

El desarrollo de los sistemas modernos de producción de alimentos fue orientado hacia paquetes tecnológicos de aplicación general. Estos han sido destinados a maximizar la producción por unidad de superficie, el rendimiento, sin considerar la heterogeneidad ecológica y/o cultural de las regiones en donde se aplicaba (Altieri, 1985). Dos hitos han marcado la difusión generalizada de este enfoque reduccionista, productivista y cortoplacista con que se ha encarado la producción agrícola hasta ahora y la tendencia en la Investigación agropecuaria.

El primero, fue la influencia de *René Descartes* cuando, con la publicación del *Discurso del Método (1637),* sienta las bases del racionalismo científico moderno según el cual, para comprender y conocer un problema complejo hay que reducirlo a sus partes más simples. Del análisis individual de cada una de las partes, podrá llegarse luego a la comprensión del todo. Se supone que, bajo esta idea, la sumatoria de conocimientos de la realidad parcializada permitirá encontrar soluciones a problemas complejos como son

los agropecuarios. Aún hoy, éste es el sistema vigente en casi todas la Universidades.

Si bien este método de obtener el conocimiento ha permitido a la ciencia avanzar enormemente, a veces resulta inadecuado desde una óptica integral, para la resolución de problemas más complejos como el manejo de los agroecosistemas. Las investigaciones basadas en una sola disciplina tienen una limitación inherente cuando se usan para resolver problemas más complejos.

El otro hito, propio de las ciencias agropecuarias ha sido la influencia de la filosofía de la denominada *"Revolución Verde"*. Bajo esta concepción, la investigación y el desarrollo de los modernos sistemas de producción de alimentos fue orientado a la búsqueda de paquetes de tecnologías generales y universales, destinados a maximizar el rendimiento del cultivo bajo una amplia gama de situaciones ecológicas. Esta filosofía aparece de la mano de la opinión de la Escuela Neoclásica, la que concibe el conocimiento tecnológico como explícito, articulado, imitable, codificable y perfectamente transmisible. Asimismo, se admite que la tecnología es realizada (creación o adaptación de conocimiento) con anterioridad a la incorporación a la esfera productiva (esto significa la no interacción y retroalimentación de ésta). La idea subyacente era adecuar el ambiente al genotipo para que este pueda expresar todo su "potencial de rendimiento". Este esquema productivo tuvo un gran éxito y predominó en las Instituciones de Investigación, durante las últimas décadas.

Este éxito, entre otras razones, determinó la priorización de cierto tipo de investigación agropecuaria, cuyas características se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1

Algunas de las principales características de la investigación "convencional" en agricultura.

- Se busca encontrar tecnologías universales y buenas per se, independientemente del destinatario de las mismas.
- Los temas que se investigan no surgen generalmente de un problema real, sino, muchas veces, de la interpretación de los problemas hechas por los investigadores o de la curiosidad e interés de los mismos (Influencia de su formación en el exterior).
- Las condiciones en que se desarrollan los ensayos (parcelas experimentales) no son similares a las condiciones imperantes en los predios de los agricultores.
- Existe un divorcio entre la Investigación y la Extensión.
- La Extensión es vista como una función menor (así como el conocimiento de la racionalidad o conducta de los productores y los condicionamientos que genera el contexto socioeconómico) en las Instituciones de Educación Agrícola Superior.
- Muchas veces el objetivo de la investigación no pasa por la solución de un problema concreto sino por el prestigio científico o el "reconocimiento" de sus pares.
- No se tienen en cuenta la influencia e interrelación de los factores culturales, socioeconómicos o ecológicos, sino meramente los biológicos-productivos.
- No se reconoce la posibilidad de que exista un conocimiento propio de los agricultores que, aunque diferente al científico occidental, les permita comprender la realidad.
- El éxito de la investigación se mide casi exclusivamente por el impacto entre colegas o el número y calidad de las publicaciones que se derivan de ella y no por el grado de solución al problema en cuestión o por la adopción por parte de los agricultores.

Durante mucho tiempo el desarrollo de los sistemas agropecuarios se hizo a través de un esquema de investigación y transferencia de tecnología. Según éste existía una clara separación de objetivos y responsabilidades entre quienes tenían que "crear" la tecnología (los investigadores) y quienes debían transferirla (extensionistas). La investigación era desarrollada por los científicos, en las grandes estaciones experimentales o Universidades, en condiciones controladas. Cuando se descubría algún conocimiento importante o alguna tecnología considerada buena, el extensionista debía encargarse de transferirla al productor agropecuario para que este la adopte (fue un período en el que se consideraba que toda oferta generaba su propia demanda). La falta de adopción de la tecnología era atribuida, muchas veces, al "atraso" de los agricultores, "incapaces" de comprender los supuestos beneficios de la nueva tecnología ofrecida. Las soluciones ensayadas respondían entonces a este enfoque: si no tenían los conocimientos, se les enseñaba; si no tenían recursos, se les daban créditos para que los adquiriera. Pero no se discutía sobre la utilidad de la tecnología.

Este enfoque, aún en vigencia y que ha caracterizado el perfil de la política científico-tecnológica aplicado para delinear las investigaciones agropecuarias tanto en las Universidades como en los INIAS (Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria), está siendo duramente cuestionado en distintos niveles. En algunos países, los sistemas de extensión han sido o están siendo reestructurados totalmente a partir del estrepitoso fracaso del sistema clásico en mejorar las condiciones de los agricultores. La FAO, ha reconocido que "se cometió el *gravísimo error* de no priorizar la generación de tecnologías de bajo costo que fuesen adecuadas para las circunstancias de escasez de capital y adversidad físico-productiva que caracteriza a la gran mayoría de los productores agropecuarios." (IICA, 1999).

Resulta innegable el efecto de la aplicación del conjunto de innovaciones derivadas del modelo "industrialista", sobre la productividad de los recursos. Cuando se analiza la función de producción elaborada sobre la base del empleo de este tipo de paquetes tecnológicos, se comprueba rápidamente el incremento de los rendimientos por unidad de superficie, pero también un aumento de las inversiones por unidad de superficie y una mayor fragilidad del sistema construido, a partir del agigantamiento del riesgo y la incertidumbre. Hoy se reconoce que los avances tecnológicos de la Revolución Verde o la tecnología convencional, no han constituido una respuesta eficiente a la heterogeneidad característica del sector rural, principalmente en Latinoamérica, ya que "sus recetas" no resultan siempre apropiadas para la subsistencia de comunidades que viven en tierras marginales o poco fértiles.

El desarrollo de esta nueva agricultura requiere, entonces de un mayor y mejor conocimiento de los componentes del agroecosistema y de las interrelaciones entre ellos. Sin embargo, tradicionalmente se ha orientado la investigación y enseñanza, hacia una agricultura de altos insumos, intensiva en capitales y en tecnología enfocando a los componentes individuales (cultivo, maleza, plaga o nutriente) y no al sistema ecológico sobre el cual se aplican estas tecnologías (Altieri, 1991). Es indispensable entonces un cambio en el enfoque o en la óptica con que se ha abordado, hasta ahora, la producción en los sistemas agropecuarios.

2. Los desafíos de la investigación agroecológica

Comprendidas las limitaciones del enfoque convencional de la Revolución Verde para resolver problemas complejos, se hace necesario discutir los cambios que deben hacerse con respecto a la investigación agrícola, lo que plantea varios interrogantes:

- ¿Se trata de cambios de fondo o de forma?
- ¿Sirven las metodologías diseñadas y utilizadas comúnmente por la Investigación clásica, o se requiere el desarrollo de una metodología ad hoc?
- ¿Se requieren cambios sustanciales en los temas que deben investigarse, o son los mismos que deben ser abordados con otro enfoque?
- ¿Son adecuados los mismos investigadores, y las mismas Instituciones? ¿Sirven los mismos sistemas y estructuras de los sistemas científico-académicos de nuestros países?
- ¿Cuál es el rol de las Universidades? ¿Cuál es el rol de otras Instituciones?

Para analizar esta problemática, resultan útiles algunas preguntas claves (sintetizadas en la tabla 2) tales como: qué, cómo, dónde, quiénes y para qué o quiénes investigar. A pesar de que estos interrogantes están interrelacionados entre sí y es difícil trazar una división neta, nos ayudarán a reflexionar sobre esta tema complejo y controvertido.

Tabla 2

Algunas dudas que plantea la problemática de Investigación Agroecológica.

¿Qué Investigar?	• Temas básicos • Aplicados (validación tecnológica)
¿Cómo Investigar?	• Marco Teórico Conceptual • Metodología • Instrumental • Diseños estadísticos
¿Dónde Investigar?	• Laboratorios • Campos experimentales • Predios de campesinos
¿Quiénes deben o pueden investigar?	• Investigadores Universidad y/o estaciones experimentales (INIAS) • Técnicos de ONG's • Campesinos-agricultores.
¿Para quiénes o para qué debe servir la Investigación?	

2.1. Qué investigar en agroecología

La primera cuestión es *qué investigar*. Hay coincidencias en que la agroecología se debe basar más en el estudio de procesos y las interrelaciones entre los componentes del sistema que en los componentes mismos. Pero ¿Cuáles son los temas de investigación que

surgen de esta afirmación? Fundamentalmente pueden dividirse en dos grandes áreas:

a) Conocimientos básicos generales.

b) Conocimientos aplicados o validación tecnológica.

Para responder estas cuestiones debemos preguntarnos si existe ya toda la información básica necesaria pero han fallado las técnicas de validación o aplicación, o si, por el contrario, aún hay muchos aspectos de conocimiento básico que no han sido tenidos en cuenta por la investigación clásica.

Ambos puntos de vista han estado presentes, implícita o explícitamente en muchas de las discusiones sobre la investigación agroecológica, desde visiones enfrentadas. Creemos que no se trata de contraponer uno a otro: la investigación agroecológica debe desarrollar estos dos tipos de conocimientos, dependiendo del problema a resolver.

a) Investigación básica: Por un lado es importante poder aumentar nuestra comprensión de los principios básicos de la agroecología para entender mejor los procesos y tener una capacidad predictiva del comportamiento de determinados diseños de sistemas agropecuarios. Esto nos evitará avanzar a ciegas por el método de prueba y error. El comprender la importancia de estos conocimientos básicos reducirá el riesgo de transformar la agroecología en una serie de recetas. Se debe evitar reemplazar el tan criticado dogma de la Revolución Verde por el *Dogma Agroecológico.* No es la receta en sí lo importante, sino el principio en el que se basa.

Es innegable que una ciencia reduccionista y basada en el desarrollo de tecnologías "de punta" no ha puesto mucha atención en el estudio de los procesos e interrelaciones entre los componentes de los sistemas agropecuarios. Por lo tanto, la agroecología tropieza con la falta de abundante información sobre los principios básicos que la sustentan como ciencia, muchos de ellos planteados en la Primera Conferencia electrónica sobre investigación agroecológica (PED-CLADES, 1994). Entre algunos de esos aspectos podemos mencionar: 1) Los niveles mínimos de biodiversidad que un agroecosistema debe tener para permitir un manejo sustentable, 2) los principios que gobiernan las relaciones benéficas en las asociaciones de plantas 3) desarrollo y validación de indicadores que permiten medir la sustentabilidad, 4) metodologías de incorporación de los costos ambientales y 5) formas de rescate y sistematización del conocimiento campesino o el denominado "saber no formal" de los agricultores.

b) Conocimientos aplicados: Si lo que se pretende es la validación tecnológica o la solución inmediata de los problemas que tienen los agricultores, las preguntas serán acerca de cuáles son las mejores tecnologías para aplicar en esta finca, o sobre el tipo de herramienta que se debe usar, la profundidad de siembra de un cultivo, o las asociaciones más útiles para un determinado caso.

Está claro que, para este tipo de preguntas, no existe una sola respuesta; no son preguntas generales sino particulares. La respuesta dependerá de la situación concreta de cada campesino o agricultor. No pueden extrapolarse a otros predios. No son generalistas o básicas. Y no por ello son menos importantes.

Por lo tanto, es fundamental aclarar el tipo de problemática que se está investigando. No son válidos los mismos métodos, los sitios experimentales o los diseños estadísticos para la resolución de un tipo u otro de problemas. Según el qué investigar, resultará el cómo hacerlo.

2.2. Cómo investigar en agroecología

Este es uno de los aspectos más controvertidos de la discusión sobre investigación agroecológica. ¿Existe una metodología agroecológica diferente de la metodología clásica o esta última resulta válida, con un enfoque diferente? Todo depende de la pregunta o cuestión considerada. Si se desea, dentro del enfoque agroecológico, tratar el estudio de las cuestiones básicas, el método para resolverlo ¿es esencialmente diferente del método científico convencional? Analicemos primero cuáles serían los pasos básicos del método científico clásico de investigación:

- Detección del problema.
- Análisis del mismo: importancia y contexto.
- Hipótesis general.
- Deducción particular.
- Diseño del experimento adecuado.
- Recolección de los datos o mediciones.
- Interpretación de los resultados.
- Se comprueba o rechaza la hipótesis.
- Conclusión general: alcances de la investigación.

Analizando el método clásico de realizar una investigación, el primer aspecto a considerar, es el modo en que se detecta el problema a solucionar. En el esquema clásico, los problemas surgen generalmente de la mente del investigador teniendo en cuenta el interés del tema, prestigio, subsidios, posibilidades de publicación: cantidad y calidad de "papers", entre otros tantos. En general, los científicos aceptan la idea de que es posible la generación de tecnología buena "en sí misma", independientemente de quien tenga que aplicarla, aspecto criticado por el enfoque agroecológico.

Otra diferencia está en el análisis del problema y su importancia. Aquí resulta fundamental el contexto en el que adquiere significado la investigación. Un enfoque diferente, lleva a asignar diferentes prioridades ante un mismo problema. La capacidad de hacer un análisis que contemple todas las implicancias de la investigación, en un científico formado con una ultra especialización o con un enfoque reduccionista, es muy limitada. Se requiere de un enfoque más amplio; holístico y sistémico, para abordar la complejidad de la problemática agroecológica.

Con respecto a la metodología o diseño y conducción de los experimentos. ¿Cuáles son las diferencias entre la investigación clásica y la agroecológica? Para abordar el estudio

de un problema básico, como los que se ha visto anteriormente, seguramente la metodología no diferirá mucho de la clásica. El diseño debería ser lo más riguroso posible a fin de poder estar seguros, dentro de un rango de probabilidades a definir, de medir lo que estamos buscando y no confundir esto con otros aspectos. Es cierto que al poseer un enfoque diferente, los interrogantes que se plantearán los científicos agroecológicos serán, en general, más complejos. Esto determinará a veces la necesidad de desarrollar diseños experimentales un poco más complicados que un simple análisis de varianza. Los métodos de análisis multivariado o no paramétricos serán entonces más apropiados en algunos casos.

Otro aspecto a considerar es la definición de los niveles correctos de significancia estadística necesarios para rechazar o aprobar una hipótesis y aceptar o no un resultado como válido. Actualmente se considera que la probabilidad límite, según el "test" utilizado, es del 95%. Cualquier valor por debajo de esta probabilidad, difícilmente sea aceptado como confiable por los investigadores y los editores de publicaciones científicas. No sirve para los "papers". Sin embargo podemos preguntarnos si debe utilizarse este mismo criterio de rigurosidad para aquellos resultados de ensayos destinados a resolver problemas concretos. No olvidemos que, en cualquier caso, estamos hablando de probabilidades. ¿Cuánto mejor es una probabilidad de 95% que una del 94%? ¿Es esta diferencia realmente significativa? Si un cultivar, un sistema de manejo, una asociación de cultivos determinada, resulta mejor que otro tratamiento en un nivel del 93%. ¿Debe rechazarse, o vale la pena tenerlo en cuenta para su recomendación a los productores? Indudablemente, es preferible esta última opción.

En cuanto al modo de hacer la investigación es necesario reconocer que los errores que se le atribuyen a la agricultura moderna, no siempre se deben a la aplicación del método clásico de investigación, sino todo lo contrario. En general, pocas investigaciones agropecuarias utilizan el método descrito anteriormente. Una gran parte son desarrollos tecnológicos o pruebas de campo (en situaciones controladas o semicontroladas de las estaciones experimentales) que tienden a resolver problemas puntuales como: la dosis más adecuada de un tipo de fertilizante o la variedad más rendidora, o la mejor dosis de un producto sanitario, etc. Este tipo de investigación no busca comprender los procesos o encontrar un común denominador para alguna problemática, sino dar una respuesta concreta, acotada, a un interrogante concreto y limitado. No es común encontrar hipótesis en los trabajos publicados en muchas revistas de investigación agrícola. La ciencia agrícola clásica tiene mucha información obtenida de este modo. Por lo tanto, no pueden atribuirse los errores de la agricultura tipo revolución verde a la metodología de investigación empleada, sino al contexto o el enfoque con que se aplicó. Con un enfoque reduccionista, productivista y cortoplacista, la interpretación de los resultados tendrá estas características. Pero el análisis de estos mismos resultados, a la luz de un enfoque mucho más amplio, resultará sumamente enriquecedor.

Por lo tanto, se debe tener en claro que la metodología clásica, bien aplicada, con una pregunta bien formulada, no debe desecharse y resulta válida para la investigación en agroecología, en el contexto adecuado. Es evidente que para la investigación agroecológica cambian el contexto en el que adquieren validez los resultados, tal vez el méto-

do de análisis, la rigurosidad o probabilidad elegida y el alcance o trascendencia o posibilidades de extrapolación de los resultados.

Pero, sin lugar a dudas, es importante que la investigación sea realizada con rigurosidad y por personal altamente preparado para ello. Es importante tomar conciencia de que ningún experimento, por más que se haga en el predio del campesino, podrá ser más útil que la capacidad de quien lo lleve adelante para planearlo e interpretarlo.

2.3. Dónde realizar la investigación en agroecología

Este es otro aspecto que se presta a discusión. Existe, en general, una fuerte crítica hacia la investigación realizada en grandes estaciones experimentales o en los predios y laboratorios de las Universidades. Este tipo de investigación se contrapone con la idea que la investigación agroecológica deberá ser realizada en los campos de los agricultores. Se considera que sólo de esta manera será válida. Sin embargo, esta discusión sólo tiene sentido una vez establecido el objetivo de la investigación. Se ha comentado anteriormente que existe consenso sobre la necesidad e importancia de investigar cuestiones básicas en agroecología, las que han sido abandonadas o soslayadas por la investigación hecha con un enfoque reduccionista. En este caso, si lo que se busca es contestar o probar algunos principios básicos, quizá las condiciones donde se realicen los experimentos o ensayos deberán adaptarse cuidadosamente a este objetivo. Si esto supone un laboratorio, pues un laboratorio será lo mejor, si se requiere de un buen campo experimental donde poder controlar las variables, esto será entonces lo adecuado.

Sería un error, en este caso, tratar de desarrollar un ensayo de estas características en un campo de agricultores. Por otro lado, pretender validar una tecnología para agricultores con escasos recursos ecológicos o económicos, en parcelas planas, bien regadas y con uso de insumos, es un error de la misma magnitud, pero de sentido contrario. Lo esencial entonces es que las investigaciones sean bien planeadas, serias y con resultados claros y correctamente interpretados. La tendencia a considerar que la investigación agroecológica sólo puede hacerse en los predios de los campesinos o agricultores es un prejuicio que puede conducir a muchos errores evitables e innecesarios. A veces, por el prurito de hacer investigación en un predio campesino, podemos tener problemas de control sobre el desarrollo del proceso experimental. Además, quizás por este mismo prurito, a veces se instala una investigación en la parcela del agricultor quien sólo cumple el papel de invitado. Como justificativo se esgrime la poca replicabilidad que tienen los experimentos hechos en estaciones experimentales en buenas condiciones, lo que es cierto. Pero, ¿tienen más replicabilidad los ensayos hechos en campos de agricultores? Esto dependerá de la pregunta que se busca contestar con el experimento y de lo bien planeado que esté.

Hay que tener cuidado con la masificación de la tecnologías agroecológicas: lombricultura, control biológico, abonos verdes, uso de extractos de plantas, asociaciones benéficas, etc. No son raros los ejemplos de malas extrapolaciones de buenas ideas. En la zona montañosa

de la República Dominicana, los agricultores, con gravísimos problemas de erosión hídrica, en suelos con alta pendiente, eran aconsejados por algunos técnicos de ONG`s para sacar los residuos vegetales del suelo y hacer "compost". La tecnología del "compost", aparentemente buena, por provenir de la agricultura ecológica, en este contexto equivocado resultaba muy mala. El problema de los suelos era la falta de cobertura y estructura, más que nutrientes.

Otro ejemplo de una mala aplicación de un buen sistema, es el de las listas de asociaciones benéficas o perjudiciales de plantas que manejan algunos agricultores o técnicos. En ellas, en una tabla de doble entrada, figuran varias especies de plantas. En la intersección de dos cultivos, se indica la naturaleza de la interacción o el resultado final de realizar dicha asociación: favorable, desfavorable o neutra. Este es un peligroso error ya que, el resultado de la interacción entre dos cultivos depende de un gran número de condiciones, además de las especies elegidas. Puede ser buena en un lugar y no en otro. Puede ser que determinada asociación entre plantas haya sido recomendada por funcionar bien en determinado ambiente donde, la planta A albergaba un enemigo natural de la planta B. Por lo tanto, al cultivar las plantas juntas, B se beneficiará de la presencia de A. Pero, si en otro nicho ecológico, no existe esta misma plaga de B, o no existe el mismo enemigo natural que se hospedaba en A, entonces el resultado de la asociación de estas plantas puede ser neutra. Incluso puede ser negativa si el fenómeno de la competencia por recursos es mas fuerte que el beneficio del control de plagas.

Si se parte de la premisa que la agroecología no busca dar recetas universales (dadas sus particularidades de tiempo y espacio), para cada comunidad de productores hay que situarse nuevamente en las características del lugar (nicho ecológico) y experimentar, tratando de validar los principios agroecológicos básicos con las tecnologías que, en ese lugar, en ese nicho ecológico y para ese momento, sirvan mejor para resolver los problemas de los agricultores. La adopción de alguna nueva tecnología sólo se hará cuando la necesidad haya partido de los agricultores y ellos mismos participen del proceso de experimentación o validación.

2.4. ¿Quiénes deben investigar en agroecología?

Los actores que deberán tomar parte de los distintos aspectos de la investigación agroecológica serían:

Agricultores o campesinos,
Técnicos de ONG`s y profesionales asesores.
Investigadores de las Universidades, estaciones experimentales y/o INIAS.

Sobre el rol de los primeros ya se ha mencionado algo al discutir las diferencias entre tipo de investigación más básica y validación tecnológica en predios de agricultores. Es importante, no obstante, que los técnicos de ONGs y quienes trabajen en contacto directo con los agricultores entiendan que es fundamental sistematizar la información

que ellos recogen de sus experiencias directas de campo. No es posible sólo hacer un listado de recetas agroecológicas. Esta información debe ser analizada y ordenada según los principios que las sustentan. Esto permitiría predecir los límites de su aplicación.

Para la participación de los Investigadores, tanto de las Estaciones Experimentales, y sobre todo de las Universidades, es indudable que estos deben cambiar radicalmente su filosofía ("su paperdependencia") por una comprensión más real de la problemática de los agroecosistemas, si pretenden hacer una colaboración más importante, que trascienda y supere los aportes sobre aspectos parciales y a veces desconectados entre sí. Del análisis hecho hasta ahora y de la complejidad de abordar los agroecosistemas desde una perspectiva global, surge la necesidad de que los temas de investigación sean encarados por equipos interdisciplinarios. Este tema es analizado de manera excelente por García (1994) en su artículo sobre interdisciplinariedad y los sistemas complejos, como son los de la temática ambiental. Este autor analiza el tema de la dificultad de realizar esto en las "Instituciones de Enseñanza Superior, todavía con resabios indelebles de las estructuras universitarias surgidas en el medioevo..." que presentan a los estudiantes un saber fragmentario y una práctica anacrónica de las ciencias y de la tecnología. Es, justamente esta deficiencia en su formación básica, lo que, según García (1994), constituye el más serio obstáculo para integrar equipos de investigación interdisciplinarios.

Para esto es fundamental redimensionar el rol de la Universidad y, específicamente, de las Facultades de Ciencias Agrarias en la formación de sus profesionales e investigadores.

2.5. ¿Para qué o para quién se debe investigar?

Muchas son las preguntas que constantemente se formulan respecto al destinatario de la investigación en agroecología, entre otras: ¿Cuál es el ámbito de acción de la agroecología? ¿Para qué tipo de agricultores? ¿Es solamente para aquellos pequeños productores o campesinos marginales, pobres en recursos, o para todos?

Por otra parte, ¿Es deseable crear Facultades o Carreras de Agroecología paralelas a las de Agronomía convencional para que atiendan a estos agricultores o deben modificarse las Facultades actuales para que el futuro profesional sea adecuado para todo tipo de realidad?

Si la agroecología es el enfoque o disciplina científica que permite el diseño, manejo y evaluación de agroecosistemas sustentables (Altieri, 1987) y, si entendemos a la sustentabilidad, en su sentido más amplio como una necesidad, entonces todos los agricultores deberían manejarse con este enfoque. Es un error, sesgar la aplicación de las prácticas agroecológicas a un determinado tipo de productor ya que esto limita el campo de acción y la fuerza de la agroecología. Sin embargo, es bastante común.

En algunos países de Latinoamérica es frecuente encontrar casos de agricultura sustentable basados en tecnologías desarrolladas por comunidades marginales de campesinos o indígenas desde tiempos ancestrales. Ejemplos notables de ello son las famosas chinampas de México o los waru-waru del altiplano Peruano. En estos casos la agroecología

ha rescatado y revalorizado el conocimiento campesino y ha mostrado la validez de los principios ecológicos subyacentes a estas prácticas. Esto ha llevado a la idea errónea de que la agroecología es sólo una serie de recetas que funcionan bien en sistemas marginales de producción, con superficies pequeñas, con recursos limitados o en aquellos cuya finalidad es la autosuficiencia alimentaria. Pero que no es aplicable en otro tipo de sistemas como los sistemas extensivos y/o más tecnificados de producción.

¿Debemos reconocer, entonces, que la agroecología tiene limitaciones? Creo que esto sería una interpretación errónea de los alcances de la agroecología. El hecho que los ejemplos utilizados pertenezcan a un determinado tipo de sistemas productivos no significa que sólo en estos sistemas funcione la agroecología. Los principios agroecológicos deben ser adecuados para el manejo de cualquier agroecosistema, incluso para sistemas extensivos, como ha sido discutido anteriormente (Sarandón & Sarandón, 1996). No obstante, para otros sistemas, deberán desarrollarse y experimentarse junto con los agricultores otras alternativas de producción fundadas en los principios básicos de la teoría agroecológica existente.

3. El rol de las universidades

La Universidad es un actor principal en el desarrollo de investigaciones con un enfoque agroecológico, por su doble papel como formadora de recursos humanos y principal centro de investigación, sobre todo, de aspectos básicos. Sin embargo, en la actualidad, el contexto en el cual habrán de desarrollarse estos cambios no es el más adecuado. Por un lado, existe un incremento en el aporte del capital privado transnacional en todo lo relacionado con la investigación y desarrollo, basado, en gran medida, en la posibilidad de apropiación del excedente económico que generan tales conocimientos. Por otra parte, las Universidades en nuestra región (a mediados de los ´80), en el marco de las políticas mencionadas, comienzan a desarrollar la idea de "prestación de servicios" a usuarios del sector primario o industrial. En este contexto, se deja al "mercado" el rol de orientar las investigaciones. De este modo, una parte importante del financiamiento universitario proviene de las empresas.

Este enfoque tiene muchos defensores que consideran que, de esta manera, se harán investigaciones más reales y concretas y no definidas por elucubraciones mentales de los investigadores. Sin embargo, es necesario tomar conciencia de que, aquellas Universidades que deseen optar por el desarrollo de una agricultura sustentable deberán estar dispuestas a subsidiar los proyectos de investigaciones en estas áreas, ya que difícilmente cuenten con el apoyo económico de las empresas.

Para la realidad latinoamericana, una agricultura agroecológica no sólo consiste en una agricultura más orgánica, menos contaminante sino que, dadas las particularidades de nuestra región, necesariamente deberá ser de bajos insumos o suplantar insumos caros por otros locales de más fácil acceso (Sarandón & Hang, 1995). Esto determinará líneas de investigación que no resulten atractivas para las empresas. ¿Qué empresa podría

estar interesada en invertir en un programa de investigación destinado a encontrar un esquema de rotaciones de cultivos adecuado para el control de malezas, enfermedades y reducir el uso de fertilizantes a través de su reemplazo por la fijación biológica reduciendo así el uso de agroquímicos? Como puede verse, el hecho de que las empresas no estén interesadas, no disminuye el valor de este tipo de investigaciones. Es claro que no puede ser el mercado o el interés de las empresas el que defina la orientación de la investigación. Esto es algo que deberá tenerse en cuenta en las Universidades que deseen apoyar un cambio profundo en la dirección de la agricultura sustentable.

A su vez, hacia el interior de las instituciones, suelen detectarse un conjunto de dificultades que conspiran contra la posibilidad de realizar algunas modificaciones tendientes a incorporar definitivamente el enfoque agroecológico. Entre ellas pueden citarse (de Sarandón & Hang, 1995, modificado):

- Falta de flexibilidad de los planes de estudio, que impiden incorporar, con suficiente agilidad, nuevas metodologías, enfoques y contenidos.
- Falta de un reconocimiento "académico" a todo aquello que se relacione con la agroecología o agriculturas alternativas. Hay al respecto una sobrevaloración de la tecnología insumo dependiente (tecnología "de punta") asociada a mayores rendimientos, que aparece aún hoy como el paradigma productivo.
- Excesiva valoración del instrumental sofisticado para la toma de los datos. Esto se transforma a veces en un fin y no en un medio.
- La mayor simplicidad que implica el planteo de los problemas desde una sola disciplina (enfoque reduccionista).
- Insuficiente formación en aspectos de agroecología y agricultura sustentable en los profesionales de la agronomía.
- Falta del desarrollo y mantenimiento de Revistas o publicaciones Nacionales de prestigio. Exceso de valoración de publicaciones por normas internacionales de "calidad" como el "factor de impacto".
- Falta de proyectos claros y a largo plazo de formación de recursos humanos en el ámbito de postgrado acerca de dónde deben formarse los investigadores y para qué.

Esta realidad nos señala que, para cualquier nivel de la enseñanza y cualquier tipo de acción a emprender, para abordar el tema de la agricultura sustentable o de la agroecología, debe partirse de un cambio de actitud de parte de los docentes e investigadores, como fuera reconocido en la X Conferencia de la Asociación Latinoamericana de Educación Agrícola Superior (ALEAS, 1993).

Es fundamental favorecer la toma de conciencia, por parte de los profesores, del significado de la agroecología y el desarrollo rural sostenible. Se requiere un profesional con capacidad de análisis de los problemas con un enfoque sistémico y holístico, que pueda establecer relaciones y entender los procesos que ocurren en la biosfera y en la sociedad

en su conjunto y así poder evaluar los impactos sobre ambos. En este sentido, Gastal (1990), citando a Maciel (1971) afirma que la Teoría General de Sistemas, realiza la unificación de las ciencias. Señala que, desde un punto de vista matemático, una sociedad es un conjunto (sistema) de individuos (elementos activos), igual que un organismo multicelular es un conjunto (sistema) de células (elementos activos). Por lo tanto *Sociedad y Organismo multicelular* son entes matemáticamente isomorfos. La unificación de las Ciencias de la vida, por consiguiente (incluidas allí, naturalmente, la Biología y la Sociología), se torna metodológicamente viable y bastante natural.

Es importante entonces promover la integración de profesores, en proyectos interdisciplinarios de investigación sobre esas temáticas tan complejas. Para ello es necesario un cambio institucional que otorgue un reconocimiento real a este tipo de actividades y a quienes las realizan.

En los últimos años, ha habido una tendencia en las Universidades a favorecer con mayores subsidios a aquellos grupos de investigación integrados por equipos interdisciplinarios. El resultado fue, en muchos casos que, con el fin de poder acceder a estos subsidios se han reunido investigadores, pero no han logrado dejar de ser una mera sumatoria de individualidades y no un grupo interdisciplinario. En la estructura actual de las Universidades y con la formación que tienen los investigadores, no es fácil lograr la formación de grupos interdisciplinarios. Si son todos investigadores formados con una óptica reduccionista y especialistas o ultraespecialistas en sus áreas: ¿Quién pone el contexto de la investigación? Se necesita alguien que tenga una visión más global y que comprenda el rol que cada una de las disciplinas juega en la resolución del problema. No es posible comprender los alcances de los problemas y el contexto en el que los resultados adquieren validez, sin un análisis holístico y sistémico comprendiendo los distintos niveles y subniveles del sistema. Es evidente que para problemas complejos, el abordaje de la realidad, a través de la sumatoria del conocimiento de diferentes especialistas, no es suficiente.

Por otra parte, en la necesidad de crear y/o recrear un conocimiento que esté relacionado fundamentalmente con una problemática, se torna indispensable establecer una fuerte vinculación entre las Universidades y distintos actores del medio rural.

Es cierto que, por su estructura, muchas veces las Universidades no pueden estar trabajando a la par de los agricultores o solucionando sus problemas concretos, como lo hacen otros profesionales y/o los técnicos de ONG's. Pero también es cierto que muchas veces las Universidades están, o han estado, aisladas de la sociedad en su conjunto y del medio productivo en especial. La interacción con las entidades de agricultores, con profesionales y con técnicos de ONGs puede ser muy rica para ambas partes con el objetivo de mejorar la capacidad de detectar y resolver los problemas de nuestros agricultores que son, en definitiva, los problemas de la agricultura.

ALEAS (1993) Conclusiones de la X Conferencia Latinoamericana de Educación Agrícola Superior, (Sarandón SJ y GM Hang, Eds.), Asociación Latinoamericana de Educación Agrícola Superior, 24 al 28 de Mayo de 1993, La Plata, Argentina, 46 páginas.

Altieri MA (1985) Agroecología. Bases científicas de la agricultura alternativa. Cetal - Chile, Imp. Ed. Interamericana.

Altieri MA (1987) Agroecology. The Scientific Basis of Alternative Agriculture. Westview Press, Boulder, Colorado.

Altieri MA (1991) Incorporando la agroecología al currículo agronómico. Texto Base para la Reunión CLADES/FAO, sobre Agroecología y Enseñanza Agrícola en las Universidades Latino Americanas. Santiago de Chile, 2-6 de Septiembre, 1991.

CUIP (Comisión Universidad Iberoamericana de Postgrado) / UPM (Universidad Politécnica de Madrid), 1992. Informe de las Universidades Iberoamericanas a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, 58 págs, CUIP/UPM, Madrid, 29 al 31 de Julio de 1991.

García R (1994) Interdisciplinariedad y sistemas complejos. En: Ciencias Sociales y Formación Ambiental. E Leff (compilador), Editorial Gedisa, Barcelona, España: 85-124.

Gastal E (1990) El enfoque de sistemas en la investigación agraria. IICA-PROCISUR, Diálogo XXIX. Montevideo, Uruguay: 141-155.

IICA (1999) Discurso de Severino De Melo Araujo, Subdirector General de FAO para América Latina y el Caribe. XI Conferencia Latinoamericana de ALEAS. Abril 1997. Santiago, Chile. En: Educación Agrícola Superior, Desarrollo Sostenible, Integración Regional y Globalización, R Chateneuf, A Violic & E Paillacar (Eds): 9-13.

NRC (National Research Council) (1989) Alternative Agriculture. CRAFMMA (Committee on the Role of Alternative Farming Methods in Modern Agriculture). National Academy Press, Wash DC, USA, 448 págs.

PED-CLADES (1994) Informe Memoria de la Conferencia Electrónica sobre Investigación Agroecológicas en la Reunión Andina, Septiembre-Diciembre de 1994, Perú, 31 pp.

Sarandón SJ & GM Hang (1995). El Rol de la Universidad en la Incorporación de un enfoque agroecológico para el Desarrollo Rural Sustentable. Agroecología y Desarrollo, CLADES (Chile) No 8/9, Octubre 1995: 17-20.

Sarandón SJ & R Sarandón (1996) Aplicación del enfoque agroecológico en sistemas extensivos: estudio de un caso en Argentina. Revista de Agroecología y Desarrollo (CLADES), Nº10: 34-38.

Los desafíos de la gestión municipal para una agricultura sustentable. El caso de Tres Arroyos, Argentina

Eduardo Cerdá y Santiago J. Sarandón

1. Introducción

Si bien el concepto de Agricultura Sustentable no es nuevo y, en apariencia, goza del acuerdo de toda la comunidad, no se ha transformado aún en acciones concretas. El concepto sigue siendo básicamente teórico. Por otro lado, aunque los objetivos de la AS son de alcance mundial y nacional, las acciones referidas al tema suelen desarrollarse en ámbitos locales o municipales. Por lo tanto, para que realmente se pueda avanzar en hacer operativo el término, se debe clarificar y redefinir el rol de los municipios y de la gestión municipal para el logro de una Agricultura Sustentable.

Este problema se hace crítico en ciertos niveles donde deben tomarse decisiones de planificación a mediano plazo que involucran las actividades agropecuarias de una región. En el proceso vertiginoso de incorporación de tecnología son las empresas las que están promoviendo y liderando el cambio, lo que ha relegado a las instituciones estatales a un rol cada vez más desdibujado. Sin embargo el Estado tiene un papel indelegable en lo que respecta a las cuestiones medioambientales a mediano y largo plazo, como lo son las cuestiones que tienen que ver con el logro de una agricultura sustentable (Sarandón, 2000).

El Municipio tiene un rol central e indelegable en el desarrollo sustentable de su comunidad. El objetivo de este capítulo es discutir estos aspectos y mostrar su aplicación en un caso concreto como el del Municipio de Tres Arroyos, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

2. El problema o situación actual

Durante mucho tiempo los municipios cumplieron una serie de funciones que consideraban eran sus obligaciones. Entre éstas, las de ser:

• Prestadores de servicios. (arreglar caminos, cloacas, agua corriente, etc.)

• Hacedores de obras. (construir caminos, puentes, barrios, etc.)
• Asistentes en la emergencia. (hospitales municipales, salas de primeros auxilios, etc.)
• Controladores de conductas (control de tránsito, permisos de conducir, habilitaciones comerciales, categorización ambiental de industrias, control de extracción de arena, cal, etc.)
• Recaudadores de los servicios prestados

En general, aún los municipios netamente agrícolas, como gran parte de los de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, han minimizado su rol en la concreción de una agricultura sustentable para su comunidad.

La falta de percepción de su rol en el desarrollo, y el desconocimiento sobre la problemática ambiental de cierto modelo de agricultura, hizo que muchos de estos municipios se enfrentaran con serios problemas de degradación de sus recursos, que limitaron la calidad productiva de sus tierras. Ejemplos de esto son los graves problemas de erosión en los municipios de la zona de la Pampa Ondulada de la República Argentina que ocasionaron enormes pérdidas económicas y de calidad de recursos (ver Capítulo 1).

Ante estos gravísimos problemas de deterioro de recursos y, por lo tanto, de pérdida de capital natural, los dirigentes municipales participan como espectadores de procesos que los afectan y afectarán aún más en el futuro. No existe aún, convencimiento y claridad sobre el rol que los municipios deben tener en la preservación de los recursos, es decir, de su propio capital natural.

En general, existe conciencia sobre la relación de la industria con la degradación de los recursos naturales, pero esta percepción no es tan clara con relación a las actividades agropecuarias En la mayoría de los municipios para habilitar una industria se requerirá de un estudio de impacto ambiental. Sin embargo, estas precauciones no son tenidas en cuenta con respecto a las actividades agropecuarias. Aparentemente, no se advierten posibles degradaciones o contaminación.

3. El nuevo rol del Municipio. Hacia una gestión municipal en el marco de la agricultura sustentable

A partir de 1990 las cosas comienzan a cambiar en la Argentina. El INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), principal institución de investigación agropecuaria del país, reconoce la necesidad de un cambio que conduzca hacia una agricultura sustentable (INTA, 1991). En muchos municipios de la Provincia de Bs. As., la actividad agrícola es esencial porque es la principal generadora de ingresos y, por lo tanto, está íntimamente ligada a su desarrollo.

El municipio puede y debe cumplir un papel importante en el control y la preservación de sus recursos naturales. Al ser la menor unidad administrativa del Estado, conoce a sus habitantes, la calidad de los recursos, tiene posibilidades de percibir su degrada-

ción y, lo más importante, le importa. A su vez, éste es un rol que no está cubierto por los particulares ni por las empresas. Muchas veces, incluso, puede haber objetivos contrapuestos entre el uso de los particulares y los intereses de la comunidad.

El municipio por lo tanto, debe entender que tiene un rol fundamental en la conservación de la capacidad productiva de sus recursos para las futuras generaciones y no debe permitir un uso de los mismos mas allá de las posibilidades de éstos.

Este nuevo desafío no puede afrontarse con los roles históricos que los municipios ejercían. Hay que readecuar sus funciones para que estos sean:

Coordinadores de las acciones públicas y privadas.
Orientadores de inquietudes para el crecimiento de la comunidad.
Promotores; alentando las actividades que hacen al desarrollo local.
Facilitadores de iniciativas para el mejoramiento de la calidad de vida de la población.
Protectores de los recursos naturales y del patrimonio histórico cultural.

Sin embargo, existen varias limitaciones para que los Municipios puedan llevar adelante esta misión en forma correcta (Tabla 1).

Tabla 1

Dificultades o limitaciones a una Gestión Municipal Sustentable

- Falta de percepción de la importancia del rol de los municipios en la preservación de los recursos.
- Visión a corto plazo prevaleciente en los gobernantes (tiempos electorales) y en los productores agropecuarios.
- Falta de planificación o planificación sesgada hacia la problemática urbana.
- Intereses particulares vs. intereses de la comunidad (propiedad privada de la tierra vs. uso responsable del recurso)
- Falta de una visión del municipio con un enfoque sistémico e integrado, por parte de los funcionarios municipales.
- Falta por parte de los productores de una visión sistémica que les permita reconocer las interrelaciones que existen entre todos los componentes del sistema y entre los distintos sistemas.
- Excesivo e infundado optimismo (comercial, climático y tecnológico.)
- Insuficiente conciencia sobre la relación entre determinadas prácticas agrícolas y el daño o deterioro ambiental.
- Falta de instrumentos municipales para valorar el daño ambiental o la degradación de los recursos.
- Falta de formación o deficiente formación de los funcionarios en temas de desarrollo y agricultura sustentable.
- Falta de criterios y metodologías adecuadas para evaluar la sustentabilidad (Indicadores)
- Instrumentos legales insuficientes o inadecuados.

El primer problema, como se ha señalado, es que no existe aún una clara conciencia sobre este rol del Municipio. Esta falta de conciencia proviene, tanto de los propios funcionarios municipales como de la población. Ésta no está aún en condiciones de

demandar esa función por no ser consciente de ella. Esto implica que es necesario que los políticos asuman claramente su misión a pesar de no tener hoy una demanda concreta, adelantándose a los hechos para no tener que actuar luego como reparadores de futuros problemas. Esto requiere a su vez avanzar o superar el horizonte cortoplacista (tiempos electorales) que muchas veces impiden la planificación a largo plazo.

Predomina a su vez, la idea que los recursos no son del municipio sino de los propietarios rurales y, por lo tanto, ellos pueden hacer lo que quieran, aún en contra de la capacidad productiva de la comuna. Esta idea lleva a gravísimos problemas o deterioros como los que ocurrieron en el partido de Olavaria. Prov. Buenos Aires, cuando empresas privadas contrataban o arrendaban campos para extraer la capa arable más fértil y con ella fabricar cerámicas (Marcelo Sarlingo, comunicación personal). Si todos los propietarios de la tierra, frente a una eventual oferta económica tentadora, tomaran esta decisión, ¿En qué situación se encontrarían los recursos productivos de los partidos?

Otras dificultades a la gestión municipal sustentable (GMS) están asociadas a la falta de una visión sistémica y holística por parte de los funcionarios municipales y de los productores agropecuarios. En ciertos casos, esto lleva a grandes dificultades para interrelacionar las diferentes actividades agrícolas. Estas no constituyen sistemas independientes, sino que están todos relacionados entre sí. Las salidas de un sistema pueden ser tanto un insumo para otro, como un problema (contaminación).

A su vez, aún no existe una clara conciencia entre la relación existente entre determinadas prácticas agrícolas y el daño o deterioro ambiental. Como ejemplo, en algunas zonas del Municipio de Tres Arroyos, se han encontrado recientemente niveles de nitratos en las aguas cuyos valores (160ppm) están por encima de lo permitido por el Código Alimentario Nacional (40ppm). Aunque no existen estudios para establecer fehacientemente una relación causal con ciertas prácticas agrícolas, la fertilización de los cultivos puede ser una de las causas, como sucede en países industrializados (Brower, 1998; Newbould, 1989) sobre todo con prácticas convencionales de altos insumos (Korsaeth & Eltun, 2000).

La realidad de estos problemas, tropieza generalmente con el excesivo y a veces infundado optimismo prevaleciente tanto en funcionarios, como en productores agropecuarios en general. Este optimismo lleva a pensar que los precios van a mejorar, que las condiciones climáticas en los años venideros serán mejores y que los avances de la tecnología solucionarán los problemas que parecen insolubles ahora. Se gasta a cuenta de un futuro mejor. Sin embargo, no siempre los datos coinciden con estas expectativas. Y el resultado es, generalmente, decepcionante.

Otro impedimento importante es la deficiente formación de los funcionarios municipales, profesionales y productores en temas de desarrollo y agricultura sustentable. Si tenemos en cuenta que este tema recién está siendo introducido en las universidades, es lógico pensar que los profesionales que han egresado de ellas hace algunos años, no tuvieron la oportunidad de formarse correctamente.

Por último, se debe vencer un escollo importante como es el de desarrollar metodologías adecuadas (indicadores) para evaluar la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios y, posteriormente desarrollar o mejorar los mecanismos o instrumentos que las municipalidades tienen para desalentar aquellas prácticas contrarias a la sustentabilidad y fomentar las que conducen hacia este objetivo.

Es importante entender que el diseño de una estrategia de desarrollo local se inserta en el marco de la complejidad ambiental, entendiendo al ambiente como un concepto abarcativo en el que se articulan las problemáticas sociales, productivas, económicas y físicas de nuestro territorio y de su comunidad. Por lo tanto, no es una tarea sencilla. Los avances en este sentido están unidos a una buena planificación que tenga en cuenta la realidad del municipio y los recursos con los que se cuenta.

4. Estrategias para el logro de una gestión municipal para una agricultura sustentable

Logrado el pleno convencimiento de parte de las autoridades municipales de ir hacia una agricultura sustentable, se deben diseñar una serie de pasos o estrategias para su logro. La planificación adquiere entonces un valor instrumental decisivo.

Los pasos que deben darse para el logro de estos objetivos dependen de muchos factores y deben ser definidos por cada municipio. Como orientación, se han listado una serie de pasos en la Tabla 2.

Tabla 2

Pasos a seguir para lograr una Gestión Municipal Sustentable

1. Definir el marco conceptual y alcances de la agricultura sustentable a nivel regional. Definir condiciones necesarias para alcanzarla.
2. Recopilar y analizar la información existente, bajo la óptica de la sustentabilidad. Diagnóstico
3. Concientizar a los distintos sectores de la producción de los riesgos a la sustentabilidad, debido al tipo de actividad que se esta realizando.
4. Consensuar la necesidad de ir hacia un desarrollo sustentable.
5. Definir los objetivos a corto, mediano y largo plazo.
6. Establecer las estrategias a seguir en el corto, mediano y largo plazo.
7. Monitorear y analizar los resultados conseguidos, errores, y redefinir objetivos, estrategias, etc.

La *definición del marco conceptual* y los alcances de la agricultura sustentable (AS) y las condiciones necesarias para alcanzarla son el primer paso. Dado que no existe unanimidad de criterios sobre lo que realmente significa la AS y lo que implica su logro, su discusión y consenso es fundamental. Un concepto básico es que una agricultura sustentable debe permitir la satisfacción de las necesidades de la presente generación sin comprometer las posibilidades de satisfacer las necesidades de las futuras generaciones.

Esto implica que debe ser económicamente viable, pero a su vez, ecológicamente adecuada y socialmente aceptada. La conservación de los recursos naturales, a su vez, implica que los sistemas productivos no deben degradar sus propios recursos ni los ajenos. Por lo tanto, no pueden contaminar.

La *recopilación y análisis de la información existente,* bajo la óptica de la sustentabilidad, es decir, obtener un buen diagnóstico, es el siguiente paso.

Habiendo consensuado el significado de una Gestión Municipal Sustentable, el Municipio debe contar con información que le permita, de manera objetiva y clara, hacer un diagnóstico de la situación de su localidad con respecto a la sustentabilidad. Sólo sabiendo donde se quiere ir, se podrá, a través del diagnóstico, determinar cuán lejos se está de esa situación. Un diagnóstico previo, sin un contexto y marco conceptual claro (lo que es bastante común) es sólo una recopilación de datos.

Un problema adicional que existe es la dificultad de interpretar correctamente los resultados. La multidimensión y complejidad de la sustentabilidad requiere un gran esfuerzo para desarrollar indicadores que permitan simplificar y clarificar la información. Como de hecho hoy no existe una serie de indicadores y el desarrollo de los mismos no es algo sencillo (ver capítulo 20), puede hacerse, como paso previo, un prediagnóstico basado en la información existente. El análisis de la información existente con una óptica diferente (sistémica y holística), en muchos casos, ya permite ver claras tendencias y aspectos críticos a la sustentabilidad.

Una vez obtenido el diagnóstico, es imprescindible *concientizar* a los distintos sectores de la producción acerca del problema. Esto implica sociabilizar los datos y mostrar claramente las tendencias o consecuencias para los agroecosistemas (respecto a la sustentabilidad) o para el municipio de seguir con este tipo de actividades.

Es importante que esto se realice una vez que se tengan claras algunas propuestas superadoras de la situación. De otra manera, sólo se estaría acentuando la angustia. Esta etapa es fundamental porque sirve para generar la base de consenso necesaria para lograr los cambios. Por lo tanto, es importante intentar generar foros de información y discusión donde los sectores (productores, industriales, comerciantes, políticos, etc.) visualicen el impacto que cada actividad genera para el Partido.

Una vez logrado el consenso acerca de la necesidad de ir hacia una agricultura sustentable y compartido el diagnóstico acerca de la situación actual y los riesgos que implica, se deben *definir los objetivos a corto, mediano y largo plazo.* Por ejemplo, un objetivo sería dejar un determinado porcentaje o superficie de área natural en el partido como reservorio de biodiversidad o una superficie mínima que se tiene que destinar a la ganadería.

Posteriormente deben *establecerse las estrategias* a seguir en el corto, mediano y largo plazo. Esto se refiere a la forma o procedimientos que los funcionarios y el resto de la comunidad utilizarán para conseguir los objetivos, por ejemplo desgravación de impuestos, multas, tasas, aliento o desaliento a determinadas actividades, etc. Pueden ser también tareas educativas por parte de la comunidad o de concientización, si se considera

que éste es el impedimento principal.

A veces, los problemas pueden ser de carácter técnico y lo que se necesita entonces es una capacitación o el desarrollo de nuevas tecnologías más apropiadas. De cualquier manera, para el trazado de las estrategias más apropiadas se deben tener en cuenta, las fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades del municipio.

Una vez que se han definido los objetivos y trazado las estrategias o medidas a adoptar es muy importante hacer *un monitoreo y análisis de resultados conseguidos,* errores, y redefinición de objetivos, estrategias, etc. Este es un proceso permanente, donde debe involucrarse la comunidad.

Hasta aquí los pasos propuestos deberían permitir que ante cambios en los precios, desarrollo de nuevos paquetes tecnológicos, etc., se puedan readecuar los objetivos y estrategias para seguir en la idea de una agricultura más sustentable.

La nueva propuesta puede ser más, pero nunca menos sustentable que la anterior. Éste es un punto esencial.

5. El caso de Tres Arroyos, Argentina

El objetivo es mostrar una experiencia de gestión de 2 años al frente de la Dirección de Producción de la Municipalidad de Tres Arroyos para el logro de una agricultura sustentable. Se destacarán, objetivos, pasos seguidos, dificultades encontradas y futuras acciones necesarias.

5.1. Características del Partido de Tres Arroyos

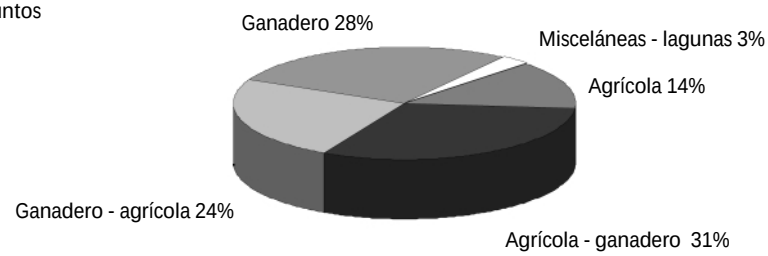
El partido de Tres Arroyos comprende una superficie de 586.100 has, con una población de 57.360 habitantes. Está ubicado en el sur-sureste de la provincia de Buenos Aires (Lat. 38º 20' S) con una línea de costa de aproximadamente 100 Km de extensión sobre el Océano Atlántico. El clima es de tipo *Templado - Oceánico,* con temperaturas de valor medio de 20,9ºC en verano, y de 9,4ºC en invierno, y con una precipitación media anual de 813mm.

En los últimos años, la agricultura ha mostrado un importante crecimiento respecto al Producto Bruto Interno. Junto con otras actividades complementarias, (transporte, almacenamiento y comunicaciones) genera el 53% de la circulación del dinero en el Partido. Por lo tanto, Tres Arroyos es una comunidad netamente agrícola, con productores activos que se interesan por adoptar tecnologías modernas. El grueso de su producción son "commodities" como trigo, girasol y carne.

La estructura agropecuaria de Tres Arroyos, concentra al 80% del total de la superficie ocupada por establecimientos entre 200 y 2500has., con distintas áreas de diferente potencial y uso del suelo (Figura 1).

Figura 1

Aptitud de los suelos en Tres Arroyos
Fuente: Dirección de Asuntos Municipales, U.N.L.P.



5.2. Situación inicial

En la Municipalidad de Tres Arroyos existían, como en otras, distintas direcciones como la de Producción, Medio Ambiente, Inspección General y otras.

La Dirección de Producción se encargaba de gestionar proyectos para microempresas, créditos ante organismos provinciales y/o nacionales, participar en ferias nacionales y provinciales, administrar el parque industrial fomentando la radicación de industrias, entre otras. Todas las actividades de esta Dirección estaban sujetas a gestiones directas en el ámbito de la Nación y la Provincia, no teniendo mayores objetivos desde el ámbito propiamente municipal. Se observaba una muy baja participación del sector agropecuario (el productor no visualizaba a esta Dirección como un gestor de acciones y necesidades propias de la actividad agropecuaria).

En la Dirección de Medio Ambiente, por otro lado, las funciones estaban limitadas a la calificación ambiental de las industrias y comercios del Partido, a ejecutar acciones de prevención de plagas y a informar a la comunidad mediante un boletín las actividades que en esta materia se ejecutan en el ámbito de la Provincia. También tenía en sus objetivos el control de la caza deportiva, protección de la fauna del Partido y verificación de los niveles de contaminación de los arroyos y funcionamiento de la planta potabilizadora de la ciudad cabecera.

En definitiva, estas Direcciones no tenían como objetivos principales la acción de prevención y/o corrección en cuanto a la degradación de los recursos naturales (nitratos en napa, destino final de los envases de agroquímicos, etc.).

5.3. Objetivos a partir de esta nueva gestión

Se consideró que era necesario un cambio hacia una gestión municipal sustentable. Se debía lograr una producción agropecuaria que pudiera satisfacer las necesidades de esta y las futuras generaciones. Para ello, debía tener como metas mínimas:

• Mantener o aumentar la rentabilidad del partido y los productores.
• Aumentar la eficiencia productiva.
• Reducir el riesgo productivo (seguridad)
• Disminuir el uso de insumos externos.
• Disminuir la proporción y dependencia de recursos no renovables.
• Disminuir el uso de productos tóxicos o la contaminación al ambiente (plaguicidas).
• Mantener un balance equilibrado de nutrientes (sobre todo de los no renovables)
• Mantener o aumentar la biodiversidad (entender la biodiversidad como un recurso)
• Mantener el nivel de materia orgánica y mejorar los procesos naturales (simbiosis, relación predador/presa, etc.)
• Proteger la calidad y el potencial de los recursos naturales y prevenir la degradación del suelo y el agua.
• Ser socialmente aceptable.

Se decidió para ello llevar a cabo un Plan Estratégico de Desarrollo del Partido, conjuntamente con la Dirección de Asuntos Municipales de la Secretaría de Extensión de la UNLP (DAM, 2000), cuyo objetivo principal consistió en la generación de información, identificación de puntos críticos, dimensionamiento, y localización de déficits, pero también de potencialidades, ofertas y discusión de prioridades ambientales, sociales y económicas; es decir se comenzó a generar y/o profundizar los instrumentos para ordenar y orientar las acciones para reclamar lo propio en otras esferas del accionar público y privado, buscando generar una estrategia global de desarrollo sustentable local.

5.4. El Plan Estratégico

El Plan Estratégico se consideró un instrumento indispensable para canalizar la vitalidad participativa de la comunidad (a través de vecinos e instituciones) y articularla con los roles y responsabilidades del Estado en un proyecto común, que refleje las inquietudes de todos a partir de propuestas sensatas y arraigadas en aspiraciones colectivas sin descuidar que el desarrollo y, por ende la producción del Partido, debe conservar los recursos naturales para ésta y las futuras generaciones.

El Plan Estratégico presenta tres grandes etapas: 1) Diagnóstico, 2) Formulación, y 3) Implementación

5.4.1. El diagnóstico

Se buscó conocer con precisión la realidad social, económica y física del territorio y su comunidad, entre otras cosas cómo se distribuye y evoluciona la población; el suministro y calidad de los servicios públicos de infraestructura; los niveles de desocupación y cobertura social; la distribución de los comercios y servicios, el dimensionamiento y loca-

lización de la actividad industrial, los empleos que genera, las perspectivas, dificultades y demandas del sector; disponibilidad, valor y uso de la tierra urbana y rural; las actividades agropecuarias, sus características y sus potencialidades; la evolución y composición del PBI.

A su vez se consideró importante evaluar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que presenta el Municipio de Tres Arroyos para una gestión municipal sustentable (Tabla 3).

Tabla 3

Resultado del diagnóstico de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) que presenta el Municipio de Tres Arroyos para una Gestión Municipal Sustentable.

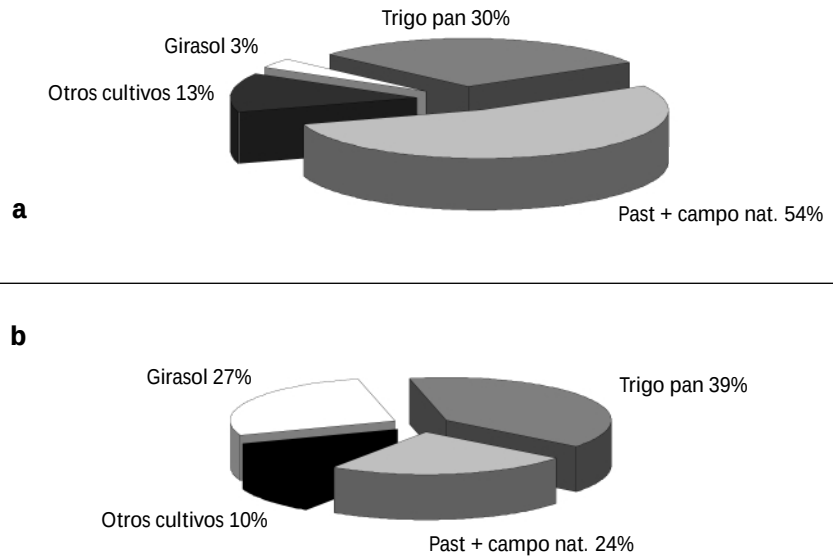
Fortalezas	• Historia con cultivos de cosecha fina • Buenas características agroclimáticas, que permiten buenos rendimientos con bajo nivel de insumos. • Existencia de una red importante de cooperativas. • Buena distribución de caminos y capacidad de almacenamiento • Cercanía a puertos. • Existencia de un Centro de Investigación y Experimentación local. (Chacra Experimental de Barrow) • Formación de técnicos agropecuarios con un enfoque agroecológico para una agricultura sustentable en la Escuela Agropecuaria de Tres Arroyos (nuevo plan de estudios)
Oportunidades	• Aumento de la demanda de productos más naturales diferenciados. (trazabilidad, productos orgánicos, calidad diferenciada) Mayor exigencia por parte de los consumidores.
Debilidades	• Concentración de la producción en pocos productos. • Aumento en el uso de insumos externos al partido. • Desconocimiento de los conceptos básicos de la sustentabilidad. • Falta de técnicas con un enfoque alternativo. • Insuficiente investigación en tecnologías de procesos. • Insuficiente conciencia ambiental.
Amenazas	• Riesgo de contaminación (presencia de nitratos en el agua subsuperficial) • Disminución crítica de la superficie de cultivos recuperadores • Pérdida de biodiversidad, indiscriminado uso de herbicidas totales.

El análisis de esta información, con una óptica sistémica y holística permitió percibir algunos aspectos que pueden considerarse críticos para la sustentabilidad del municipio, por ejemplo, la concentración de la producción en pocos productos. Hace más de 30 años, el productor diversificaba su actividad entre 12 productos (trigo pan, trigo candeal, cebada, avena, girasol, maíz, alpiste, lino, soja, carne, leche, lana). Un 13% de la superficie del partido, y el 28% de la superficie agrícola, se dedicaba a otros cultivos además de los dos más importantes, el trigo y girasol, que representaban el 33% de la superficie total (Figura 2a). Hoy el partido depende prácticamente de estos 2 cultivos, que ocupan el 87% de la superficie agrícola y un 66% de la superficie total del partido (Figura 2b). A pesar del crecimiento del área agrícola, la importancia relativa de los otros cultivos se ha reducido a un 10% de la superficie total del municipio y a un 13% (en lugar del 28%) de la superficie

agrícola. Este aumento de la superficie agrícola, y la concentración en pocos cultivos, fue debido a decisiones basadas en necesidades urgentes, y a la búsqueda de mayores márgenes brutos, perdiendo de vista el sistema que manejan y la repercusión de su decisión a futuro.

Figura 2a y 2b

Distribución de la superficie de Tres Arroyos por cultivos a) año 1970/71, b) año 1999/00. Fuente: SAGPyA



Esto hizo que algunas actividades que estabilizaban los sistemas, como la ganadería, fueran abandonadas por considerarlas competidoras y no complementarias de la agricultura, a pesar de que la producción ganadera puede aportar fertilidad, desacelerar el uso intensivo del suelo y aportar nutrientes como el nitrógeno en forma natural y a bajo costo. Esta decisión por parte de los productores de aumentar fuertemente la superficie destinada a unos pocos cultivos, pone en situación de fragilidad a los recursos naturales del partido. Por ejemplo, los sitios que permanecen sin cultivar todos los años, son cada vez menores, disminuyendo las posibilidades de mantener la fauna autóctona y poniendo en peligro la supervivencia de ciertas especies que necesitan un mínimo de espacio para mantenerse. Esta superficie, que representaba un 54% de la superficie total en 1970 se redujo a sólo un 24% en el año 2000. Esta tendencia ha sido constante desde 1970 (Figura 3). La proyección de esta tendencia muestra que, para el año 2033 desaparecerían (si no se hace nada en contrario) los lugares que actúan como reservorios de biodiversidad (Figura 4), necesarios para esta fauna que durante muchos años ha equilibrado y mantenido en niveles aceptables a las

plagas de nuestros cultivos más predominantes. Sin embargo, mucho ante de que esto ocurra, la superficie de estos sistemas puede llegar a niveles no compatibles con el cumplimiento de sus funciones ecológicas. Más aún, tal vez hoy, la superficie remanente de estos sistemas se encuentre por debajo del mínimo necesario para permitir un manejo sustentable. Este análisis plantea sin duda, la necesidad de efectuar estudios en este sentido.

Figura 3

Cambios en las superficies relativas dedicadas a diferentes actividades en el partido de Tres Arroyos,desde 1970 hasta el 2000. Fuente: SAGPyA - Chacra Exp.Int.Barrow

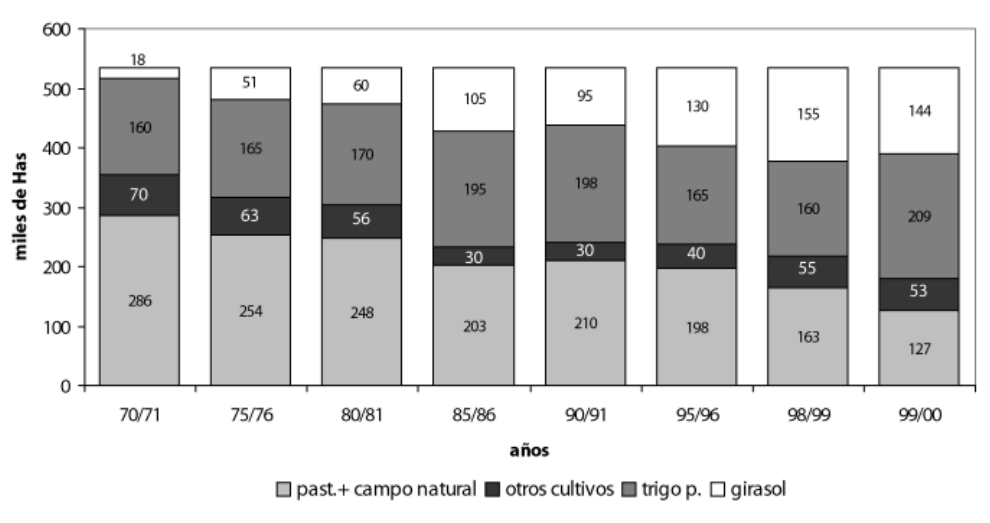
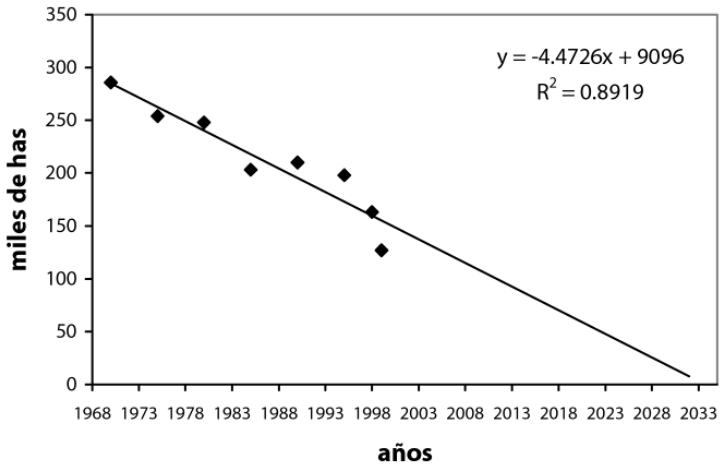


Figura 4

Recta de regresión que muestra la tendencia a futuro en la superficie destinada a pasturas y campo natural en el partido de Tres Arroyos.



Estos datos muestran también que el nivel de pasturas utilizado en el Partido es bajo como para recuperar la fertilidad exportada por los cultivos y no se estaría aprovechando los beneficios de la fijación biológica. Esto supone un aumento en el uso de insumos y un incremento potencial de las posibilidades de contaminación.

Los costos de producción registraron algunos cambios importantes en los últimos años, básicamente, el costo del combustible y el aumento progresivo en el uso de fertilizantes para mantener un nivel de producción estable. Los diferentes sectores que hacen a la actividad agropecuaria, registran una situación de endeudamiento muy importante. Esto nos lleva a pensar que la forma en que se está llevando a cabo la producción en el partido no puede sostenerse en el tiempo.

A pesar que las tecnologías incorporadas en los últimos años fueron superando algunos obstáculos y mejoraron los rendimientos potenciales de los cultivos, para el caso del principal cultivo, el trigo, la ocurrencia de circunstancias climáticas adversas, ha hecho que la tecnología puesta en juego no haya podido expresar todo su potencial (Figura 5 a). Con respecto al otro cultivo importante, el girasol, aunque su rendimiento ha ido evolucionando, jul precio ha caído fuertemente. Un análisis a valor de precio constante, muestra que los costos asociados a esta tecnología, han aumentado en este mismo período (Figura 5 b), por lo que el capital puesto en juego es cada vez mayor. Si pensamos en las próximas generaciones y proyectamos esta tendencia a 25 años (una generación), vemos que, para mantener ciertos niveles de ingreso, será necesario aumentar la utilización de insumos y, por consiguiente, los costos y el riesgo (Figura 6). Por lo tanto, aunque el rendimiento potencial de algunos cultivos va en aumento, también aumenta considerablemente el costo, disminuyendo así su utilidad, generando un mayor riesgo, un paulatino endeudamiento y la desaparición de pequeños productores. Este análisis sugiere la necesidad de rediscutir los cambios tecnológicos a incorporar en la agricultura de la región y proyectarlos a mediano o largo plazo.

Figura 5a

Evolución de los rendimientos de trigo (a), en Tres Arroyos. Datos promedios de la zona y de un productor de avanzada. Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación. Dirección de Desarrollo Estratégico.

a- Rendimiento de trigo

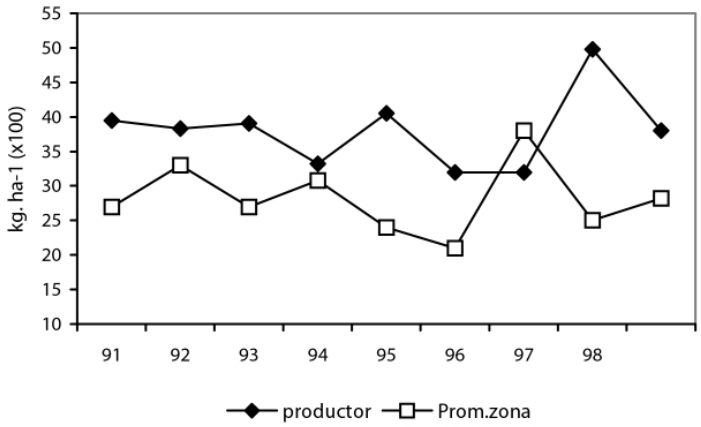


Figura 5b

Evolución de el costo de producción a valores constantes (b), en Tres Arroyos.
Datos promedios de la zona y de un productor de avanzada.
Fuente: Dirección de Desarrollo Estratégico Munic. Tres Arroyos

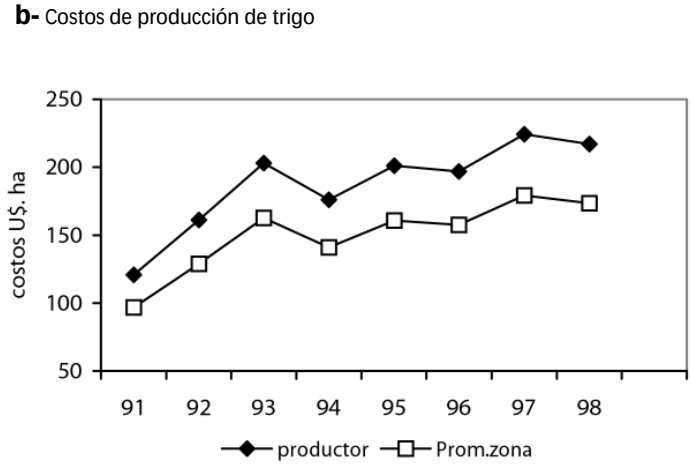
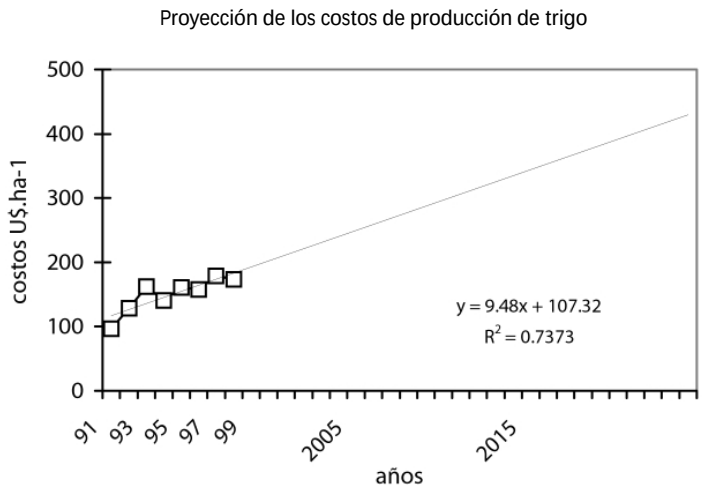


Figura 6

Proyección de la tendencia en los costos de producción de trigo pan a 25 años en Tres Arroyos. Promedio del partido.



Otro punto crítico es el aumento en el uso de herbicidas totales (barbechos químicos) dado que los productores los utilizan más allá de los lotes de producción (alambrados, etc) comprometiendo seriamente la actividad apícola en el Partido, que hoy permite generar fuentes de trabajo a más de 200 productores (tener en cuenta que en el Partido hay 800 productores agropecuarios aproximadamente).

5.4.2. Segunda Etapa: La formulación (en ejecución)

El segundo paso consiste en saber qué quiere ser la comunidad de Tres Arroyos. Aquí es fundamental la participación, el consenso y la concertación, porque sin ellos, no es posible implementar una estrategia que involucre a toda la comunidad. El objetivo no es construirle el bienestar a la gente, sino generar el ambiente propicio para que la propia gente lo construya.

Es responsabilidad del Estado Municipal alentar la discusión de objetivos y prioridades sobre la base de lo que puede ser su comunidad. Su actitud responsable debe contribuir a diseñar un proyecto ambicioso pero alcanzable, y para ello, es indispensable el conocimiento de las posibilidades propias y del contexto.

En este sentido el *Plan Estratégico* representa un proyecto global y colectivo de la comunidad y la gestión, con objetivos intersectoriales dirigidos al desarrollo y capaz de convertirse en un espacio de acuerdos y movilización de la pluralidad de actores involucrados.

Se diseñaron tres procesos para la formulación del Plan

- Presentación del Plan Estratégico a la Comunidad, mediante el lanzamiento del Plan y la conformación de la Mesa de consenso.
- Construcción comunitaria del Diagnóstico, a través de la realización de talleres vecinales barriales en la ciudad cabecera, talleres vecinales en localidades y talleres temáticos sectoriales.
- Elaboración comunitaria del Plan, en el que se definen el modelo de desarrollo, los lineamientos estratégicos, los programas y acciones; se presenta públicamente el Plan Estratégico y se firma el "Contrato Social".

5.4.3. Etapa de Implementación (prevista para el año 2002)

Mediante este proceso se busca poner en marcha los mecanismos y los canales necesarios para el abordaje de los objetivos que se pretenden alcanzar, a fin de solucionar los problemas identificados en los talleres y plenarios.

El objetivo de la Planificación Estratégica es servir de instrumento político-técnico de gobierno para:

- Identificar tendencias y oportunidades, elaborar objetivos prioritarios, formular programas, y evaluar resultados en la comunidad.
- Programar eficientemente la asignación de esfuerzos y recursos, concentrándolos en aquellos temas que se hayan considerado importantes y/o críticos.
- Generar escenarios de consensos y compromisos para la acción entre el sector público y privado.
- Instrumentar articulaciones para la coordinación entre áreas con una perspectiva de actuación urbana y territorial integrales.

5.2. Propuestas (posibles soluciones)

El análisis preliminar de la situación del municipio permite sugerir algunas primeras propuestas, que tienen en cuenta las fortalezas y oportunidades que se presentan en el mismo municipio.

Entre las fortalezas se rescata como importante las buenas condiciones de la zona que permiten una producción bastante natural, con bajos insumos y donde la ganadería ha tenido un lugar importante en otra época.

Los productores deben disminuir el riesgo y, dada la tendencia a la baja en los precios de los commodities, deberían prepararse para lograr nuevos mercados, diferenciando los productos, garantizando una determinada calidad que le permita acceder a precios diferenciados, o comenzar a desarrollar otros productos con demanda potencial, agregando valor a la producción primaria e incorporando tecnología de valor agregado. Uno de estos mercados podría ser el de los productos orgánicos o naturales. Esta tendencia se contrapone con otra que viene desarrollándose muy fuerte en la Argentina, como es la de los cultivos transgénicos (un 99% de la soja cultivada en el país es transgénica). Aunque como en Tres Arroyos casi no se cultiva soja, no existe una fuerte presión en este sentido, sí se siembran otras especies como el maíz, que tiene cultivares transgénicos. Los productores y el municipio deben decidir cuál es la política más correcta en este sentido, ya que ambas parecen no ser compatibles.

Otro aspecto a considerar es la necesidad de volver a equilibrar los sistemas productivos y disminuir su riesgo económico y ecológico, incorporando otros cultivos. Tal vez pensar en cultivos consociados que aporten materia orgánica, que trabajen en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, utilizar mecanismos que pongan más disponible un recurso escaso como el fósforo. Para ello sería importante la redefinición del rol de la Experimental (muy antigua y prestigiosa), que se encuentra en la zona. Sus investigadores y extensionistas pueden tener un importante papel en la generación de tecnologías más apropiadas para una agricultura sustentable.

El tema de la tenencia de la tierra es otro punto a abordar. Sería trascendente legislar para que se hagan contratos a mediano y largo plazo, que contemplen un porcentaje mínimo de cultivos (que eviten la roturación todos los años de gran parte de la superficie del Partido) recuperadores de la fertilidad extraída.

Unos de los problemas más urgentes que enfrenta el municipio es la desocupación. Una de las posibilidades de desarrollo, es la actividad apícola, que nuclea unos 200 productores y que utiliza un recurso abundante como son las flores, muchas de ellas de la flora espontánea. Sin embargo, hoy este recurso no es protegido de un eventual uso indiscriminado de herbicidas totales por parte de los productores, que pone en peligro esta importante actividad para nuestra zona. Una mayor conciencia de los productores respecto a la interrelación entre los diferentes sistemas es un paso importante a dar. Simultáneamente es fundamental determinar cuál es la mínima superficie del partido que se debe conservar sin mayores alteraciones, para mantener la fauna benéfica en niveles de población aceptable.

Estas propuestas ante problemas concretos también deben ser acompañadas de

otras medidas a mediano plazo que son necesarias para hacer posible una gestión municipal sustentable. Entre otras:

• Generación de una mayor conciencia ambiental en la población y agricultores.
• Capacitación de los funcionarios en temas de agricultura y desarrollo sustentable.
• Desarrollo de metodologías para evaluar la sustentabilidad adaptadas a las características locales.
• Generar herramientas legales que incentiven y protejan los recursos naturales, impidiendo que intereses particulares hagan un uso inadecuado de los recursos.

A mediano plazo es importante destacar, como una fortaleza, el cambio que se ha producido en la Escuela Agropecuaria de Tres Arroyos, una institución modelo en la región y en el país, que ha hecho un cambio radical en su plan de estudios para formar técnicos agropecuarios con un enfoque agroecológico que puedan afrontar el desafío de diseñar y manejar agroecosistemas sustentables (Sarandón & Cerdá, 2000).

6. Comentarios finales

Este capítulo ha intentado discutir y demostrar el rol protagónico que las municipalidades tienen en una Gestión Municipal Sustentable. Muchas veces, el horizonte puramente economicista y cortoplacista prevaleciente actualmente, junto con la falta de una formación más sistémica y holística que impide ver las interrelaciones entre los distintos sistemas, pueden llevar al desarrollo o fomento de adopción de ciertas tecnologías que pueden alterar o degradar recursos que en un futuro limiten el desarrollo de la comunidad. (contaminación de arroyos con potencial turístico, control extremo en malezas que perjudica la producción apícola, etc.).

Se debe trabajar para mejorar el balance entre las entradas y las salidas del partido, mejorar la complementariedad de los sectores, aprovechando los recursos ociosos y subproductos en pos de aumentar la eficiencia productiva, evitando el deterioro de los recursos naturales, que generen ingresos de divisas genuinas para el partido.

Es cierto que las actividades agropecuarias son importantes generadoras de divisas para muchos partidos o municipios. Pero también es cierto que esta generación de divisas no puede ser hecha a costa del deterioro de los recursos productivos que, en el caso de la producción agropecuaria, son fundamentalmente los bienes naturales. “No ser consciente de estos aspectos puede generar en el corto plazo una “falsa ilusión de riqueza” que puede ocultar el verdadero problema: la región es cada vez más pobre en capital natural”, y está hipotecando su futuro (Sarandón, 2000).

Por último es fundamental tener en claro que la construcción de un escenario diferente no podrá realizarse sin el firme convencimiento y participación de todos los miembros de la comunidad.

Brouwer F (1998) Nitrogen balances at farm level as a tool to monitor effects of agri-environmental policy. Nutrient Cycling in Agroecosystems 52:303-308.

Dirección de Asuntos Municipales (2000) "Tres Arroyos" Reflexiones y datos para una estrategia de desarrollo. DAM, Secretaría de Extensión Universitaria, Universidad Nacional de La Plata. (en prensa).

INTA (1991) Seminario Juicio a Nuestra Agricultura. Hacia el desarrollo de una Agricultura Sostenible. INTA, Editorial Hemisferio Sur, 368 pp.

Korsaeth A & R Eltun (2000) Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment in Norway. Agriculture Ecosystems & Environment, 79:199-214.

Newbould P (1989) The use of nitrogen fertilizer in agriculture. Where do we go practically and ecologically? Ecology of arable land, M Clarholm & L Bergstöm (Eds.), pp. 281-295. Kluwer Academic Publishers.

Sarandón SJ (2000) La formación de los funcionarios de los Municipios de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, en temas de agricultura sustentable: una necesidad impostergable para la conservación del ambiente regional. III Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental, Caracas, Venezuela, 21 al 26 de Octubre de 2000.

Sarandón SJ & E Cerdá (2000) Incorporación de los conceptos de la agricultura sustentable en las escuelas agropecuarias de nivel medio en la Argentina. El caso de la Escuela Agropecuaria de Tres Arroyos. III Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental, Caracas, Venezuela, 21 al 26 de Octubre de 2000.

Los viñateros de la costa del Río de La Plata, Partido de Berisso, provincia de Buenos Aires, Argentina: el rescate de una producción tradicional

Mariana Marasas e Irene Velarde

1. Antecedentes

El presente capítulo analiza la experiencia de los viñateros de la costa del Río de La Plata que por generaciones vienen realizando un producto de características artesanales: el vino de la costa.

Durante el período de inmigración masiva que vivió Argentina a fines del siglo XIX, las tierras costeras y bajas ubicadas en el partido de Berisso, al sur de Buenos Aires recibieron un uso muy particular. Esta zona se caracteriza por un clima templado sin estación seca, con inviernos benignos y con 1000 mm de precipitaciones anuales aproximadamente. La fuerza de los vientos del sudeste aparece con violencia, coincidiendo eventualmente con crecidas del río de La Plata. Se puede decir que la zona bajo estudio está comprendida en su totalidad bajo la cota IGM (Instituto Geográfico Militar) de 3,75m, encontrándose altamente expuesta a inundaciones periódicas. El bosque ribereño, hoy reemplazado por especies arbustivas, matorrales y el pajonal caracteriza el albardón costero del partido.

Estas tierras aluvionales, anegables con la creciente del río fueron destinadas a la plantación de verduras, forestales, frutales y viñedos.

Los inmigrantes, en su mayoría italianos, españoles y portugueses colonizaron estas tierras y trajeron a la Argentina sus costumbres, tradiciones, técnicas y gustos. Estas manifestaciones perduraron, transmitiéndose de generación en generación, como un legado que acompaña la transferencia de la tierra de padres a hijos.

Los recién llegados tuvieron la tarea ardua de preparar los viñedos, trabajaba toda la familia para obtener el vino de la "viña" o más conocido como vino de la costa, que consumían y vendían localmente (Posadas & Velarde, 1998).

La implantación de vid americana *(Vitis labrusca L.)* bajo el sistema de parral, rápi-

damente se adaptó a las condiciones locales (suelo, clima y régimen hídrico). Se llegó a producir casi 1.000.000 de litros anuales de vino y se desarrolló como una agroindustria de carácter artesanal y familiar dando como resultado un vino "diferenciado" con una acidez y sabor característico que sigue siendo en la actualidad reconocido por la población de la zona.

La estrepitosa regresión económica como consecuencia de la política nacional e internacional a partir de la década del 60', colocó a la población en situación crítica. Los sistemas productivos actuales están en retroceso tanto a nivel productivo como comercial. La superficie implantada con viñedos en la zona decayó más de un 70%, al tiempo que los rindes por planta bajaron a la mitad (debido al abandono de las prácticas culturales) y el volumen de vino producido en promedio por establecimiento declinó alrededor de un 80%. Sin embargo, el arraigo cultural que tiene la producción de vino, además del prestigio que ha ganado, hace que algunos productores mantengan la esperanza e intenten paliar algunas de las dificultades de esta actividad, probando alternativas que permitan la continuidad de la tradicional producción de vino de la costa.

Lo distintivo es que para los viñateros de Berisso no existió un proceso de innovación tecnológica que modificara el sistema productivo tradicional. La producción decayó, pero los que continuaron con la actividad reproducen la forma de producir de sus antecesores. Esta transmisión y aplicación del conocimiento tradicional sumado al particular manejo de los recursos naturales, permitió que perduren procesos biológicos diversos. Estas características se transformaron hoy en una ventaja competitiva cuando se aspira a la reactivación de un producto artesanal. Este es, sin duda, el punto de partida que, junto con el aporte de nuevos conocimientos, permitirá resolver algunos de los graves problemas que enfrentan actualmente los productores de vino.

En el año 1999 comenzó a consolidarse un grupo de productores de vino de la costa que coordinado por técnicos del curso de Extensión Agropecuaria de la Universidad Nacional de La Plata, comenzaron a reunirse periódicamente de manera de reactivar y fortalecer, a partir de la capacitación, la discusión y revalorización de las propias experiencias de los productores, una tradición familiar de fines del siglo pasado.

Realizar un diagnóstico con metodologías participativas permitió consolidar el grupo, y a partir de la interacción y la circulación de conocimientos, potenciar el aprendizaje colectivo. Se logró distinguir y rescatar aquellas prácticas cotidianas adaptadas a las condiciones locales, reconocidas por los propios productores y por último, revalorizar el conocimiento que se ha transmitido a través del tiempo y considerarlo como un importante recurso para dinamizar la producción local.

Durante un año de trabajo, se reflexionó sobre algunas prácticas que realizan los productores sobre el viñedo, lo que nos permitió comenzar a entender el porqué de su adaptación y conservación en el tiempo.

A partir de un estudio de caso, se ejemplificará el funcionamiento de estos sistemas productivos familiares, analizando sus características más importantes:

2. Descripción general del sistema productivo

El sistema productivo, que pasaremos a describir, se caracteriza por tener una gran antigüedad, data del año 1920 aproximadamente, con la llegada de los primeros inmigrantes. Esta quinta (perteneciente a uno de los productores del grupo) es un caso representativo de la zona, forma parte del monte ribereño anteriormente descripto, integrada al paisaje propio del albardón costero. El productor es propietario de 4 has. El origen italiano de su familia le confiere a la actividad productiva características distintivas. Se lo puede encuadrar como productor familiar no capitalizado cuya racionalidad económica no es la clásica maximizadora de beneficios, sino que su objetivo es mantener la tradición familiar con los recursos endógenos. Únicamente, se requiere la colaboración de vecinos, amigos y/o parientes para la época de la cosecha. El manejo de la quinta se sostiene con poca tecnificación, no hay labores mecanizadas, predominando las tareas de tipo manual.

Para comprender la lógica del funcionamiento del sistema productivo, es necesario previamente analizar dos aspectos de fundamental importancia:

2.1 El diseño espacial del predio

Los viñedos, conducidos bajo la forma de parral, cuentan con una superficie de 2 ha aproximadamente, y se encuentran organizados en lotes de no más de 1/2 ha, rodeados de cortinas forestales y sistematizados por el preciso diseño de canales y zanjillos para la circulación del agua proveniente de las crecidas periódicas del Río de La Plata. Su conducción en parrales altos permite evitar el deterioro de flores y racimos, cuando el agua llega al cultivo.

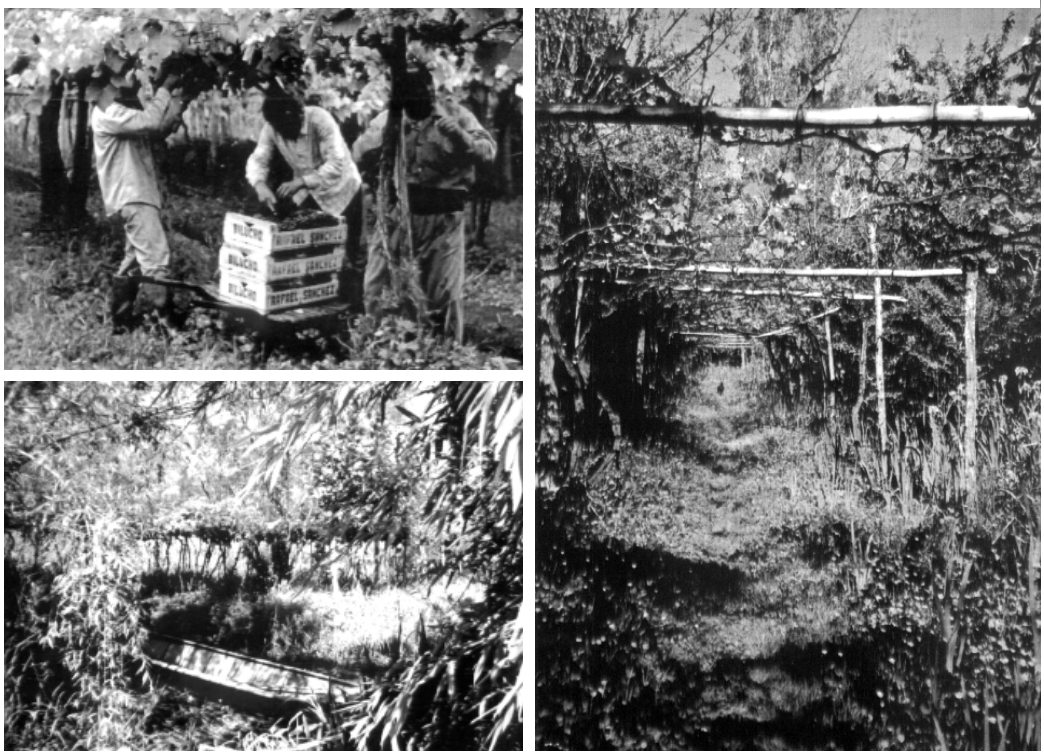
Fotos

Viñedos conducidos bajo el sistema de parral, en la costa de Berisso, Pcia. de Buenos Aires.
Continua en página 453



Fotos

Viñedos conducido bajo el sistema de parral, en la costa de Berisso, Pcia. de Buenos Aires.



Las vides están plantadas a una distancia entre plantas de 1,5 m y entre hileras de 3 m. En una hectárea hay unas 1980 plantas aproximadamente.

Los suelos, muchas veces pobres, están protegidos por la presencia de cobertura vegetal permanente, con especies de la zona, como lirios *(Iris pseudacorus),* tréboles *(Trifolium sp)* y otras.

Una particularidad del sistema es su diversificación productiva, observándose que la vitivinicultura no es la única producción, sino que se combina con fruticultura (cultivo de ciruelas principalmente), el manejo y la cosecha de caña *(Arundo donax)* y la explotación forestal de álamo *(Popolus sp)* y sauce *(Salix sp).* La combinación de tales actividades permite trazar una estrategia diversificadora del riesgo productivo, climático y de mercado.

2.2 La ubicación, vinculada a su cercanía al río

La presencia del río de La Plata y su ritmo de inundaciones periódicas ejerce un rol importante en la regulación de determinadas condiciones climáticas y de manejo. Por un

lado, la cercanía al río actúa con un efecto amortiguador de las variaciones diarias de la temperatura. La presencia de agua permanente en los canales de drenaje, mantiene la humedad y disminuye los efectos de la helada en invierno. Por otro lado, en épocas de sequía, el agua de los canales y canteras, oficia de reservorio para las actividades de riego. Otro beneficio indirecto, es el probable control de la *"filoxera",* un insecto perteneciente al Orden Hemíptera que vive principalmente en las raíces y hojas de las vides. Parte importante de su ciclo ocurre en el suelo y las crecidas del río podrían controlar su reproducción destruyendo por asfixia las formas radicícolas y, por lo tanto, disminuiría su potencial ataque al cultivo (Ruiz Castro, 1965).

3. Labores culturales y estrategias de manejo

Las actividades principales que se realizan durante el año son las siguientes:

Reproducción de las vides: se realiza por acodo, previa selección de las mejores parras. Al año se corta el acodo para la obtención de una nueva planta.

Poda: Ocurre en invierno, entre los meses de julio y agosto. Es una de las actividades más importantes para garantizar una buena producción del viñedo. La importancia de la poda está en el criterio del productor para evaluar que es lo que va a juntar ese año y que es lo que debe dejar para el próximo. Según el productor, *"la parra le enseña a podar".* Es una actividad que se realiza con el fin de asociar, por un lado, la productividad que va a tener la vid, y por el otro, íntimamente relacionado al fenómeno de las heladas. En la zona se realiza la poda tardía. De esta manera se retarda la aparición de los brotes, disminuyendo el riesgo de exposición a las mismas.

Mantenimiento del parral y atado: Todos los años se debe reforzar la estructura que mantiene el parral. Se cambian postes y alambres. Los postes son recursos de la propia quinta, ya que se hacen con troncos de álamo o sauce. El atado se hace con mimbre del lugar, se corta y atan las ramas a los alambres para evitar que el viento, lluvia y/o granizo voltee las guías.

Control de enfermedades: es un problema típico de la zona, dado por las condiciones climáticas, con una elevada humedad ambiental. Para el control de hongos se utiliza "el caldo bordelés", un producto de fabricación casera, constituído por sulfato de cobre y cal apagada. Se aplica con mochila manual y se realizan tres "sulfateadas" durante todo el año. Es un preparado tradicional, no tóxico y que no se lava con las precipitaciones, por lo que mantiene su efecto fungicida.

Desmalezado: Se realiza con desmalezadora manual, con una periodicidad de tres veces en el año. Cuando la vegetación no compite con el cultivo, ni obstaculiza las labores, se la deja crecer.

Limpieza de zanjillos: se realiza en forma totalmente manual, con pala, limpiando la vegetación y sacando la acumulación de sedimentos que trae el río. Es una tarea que requie-

re mucho esfuerzo físico, pero resulta necesaria para garantizar el buen drenaje del agua. El sedimento se vuelca en los surcos, al pie de las vides y actúa como abono y mejorador de la estructura del suelo aportando nutrientes y buena cantidad de materia orgánica.

Cosecha: se realiza entre mediados y fines de marzo, dependiendo de las condiciones climáticas. Se realiza a mano, seleccionando los racimos más maduros.

Luego comienza el proceso de industrialización de la uva. El productor cuenta con su propia bodega, de más de 70 años de antigüedad, con los toneles y bordalesas de madera de roble. La molienda, la fermentación alcohólica y el posterior trasvasamiento dan como resultado el vino de la costa. Para consumirlo se esperan los primeros fríos, en el mes de mayo.

A partir del análisis de este caso y con los elementos que aportó el diagnóstico participativo, logramos identificar cuales son las principales fortalezas y debilidades de los sistemas productivos, de manera de poder reconocer las oportunidades futuras (Tabla 1):

Tabla 1

Principales fortalezas y debilidades de los sistemas productivos de Berisso, Pcia. de Buenos Aires.

A) Fortalezas	B) Debilidades
• Sistemas productivos adaptados a las condiciones locales	• Viñedos de mucha antigüedad
• Diversificación productiva, lo que le brinda una mayor estabilidad	• Falta de mantenimiento de los sistemas productivos
• Mantienen una baja o nula dependencia de insumos externos (maquinaria, fertilizantes, pesticidas, etc.)	• Falta de mantenimiento de drenes y canales para la circulación del agua
• Poco o nulo impacto ambiental negativo	• Falta de mano de obra especializada
• Conocimiento local y arraigo cultural	• Descapitalización (no hay reinversión)
• Armonía de la actividad productiva con el paisaje	

Las fortalezas permitieron revalorizar las prácticas tradicionales, la lógica del funcionamiento de los sistemas e identificar algunos de los principios agroecológicos que permitieron su permanencia en el tiempo. Ser concientes de las debilidades que se presentan en la actualidad, es el punto inicial para poder proponer nuevas estrategias que respondan a las necesidades presentes.

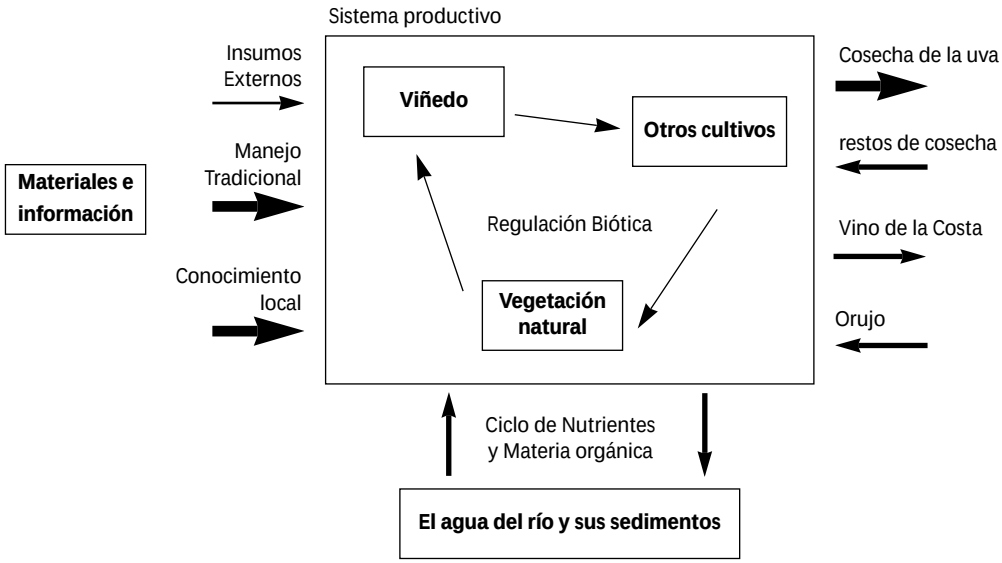
4. El rescate de los principios agroecológicos que mantuvieron viva la producción local de vino de la costa

Varias son las prácticas que conforman la base de los principios agroecológicos y que se rescatan del estudio de caso y del trabajo participativo con el grupo de producto-

res. Estas, probablemente garantizaron la conservación de los sistemas productivos. En este punto, se las intentará sintetizar (Figura 1), para luego presentar una alternativa de desarrollo rural basada en un manejo sustentable de los Recursos Naturales:

Figura 1

Diagrama de flujos explicando el funcionamiento de un sistema productivo típico de Berisso, Pcia. de Buenos Aires, Argentina.
El grosor de las flechas está vinculado a la importancia relativa de las entradas y salidas al sistema.



a) La diversificación biológica

La diversidad de cultivos en armonía con la vegetación del lugar garantizan, en gran medida, los procesos vinculados al funcionamiento y regulación del ecosistema (Altieri, 1992). La agrobiodiversidad es capaz de subsidiar por sí misma la fertilidad del suelo y la protección de los cultivos. La cobertura del suelo, no sólo protege la superficie de la erosión hídrica, además mantiene la diversidad biológica que favorecería la creación de hábitats alternativos para mantener el equilibrio ecológico y probablemente, la presencia de enemigos naturales de posibles especies plagas del cultivo (Nicholls, 1998).

b) El manejo del agua

El río es el componente quizás más importante en el manejo del sistema. El agua interviene actuando en ciertos procesos como el *reciclado de los nutrientes,* ya que aporta materia orgánica y sedimentos proveniente de la limpieza de los canales de drenaje. Por lo tanto, el mantenimiento de la calidad del suelo, se ve reflejado en el manejo a través

de décadas realizado por los productores y que responde a una correcta adaptación a la situación local.

La cercanía al río y la presencia de agua casi permanente en canales y drenes, produce por un lado, el efecto amortiguador de las heladas en invierno y por el otro, contribuiría al control de la *"filoxera"* (plaga principal del cultivo de la vid), lo que disminuye la probabilidad de pérdidas por factores climáticos y biológicos.

c) Baja dependencia de insumos externos

Este aspecto permitió a algunos productores sobrevivir a los vaivenes económicos, producto de las economías nacionales. No requerir de costosos insumos propuestos por las "tecnologías modernas" y lograr mantener el sistema productivo con mecanismos de autorregulación, brindados por el mantenimiento de los equilibrios biológicos, fue una de las principales causas que permitió su permanencia hasta nuestros días. La baja dependencia de insumos externos minimizó los riesgos económicos y colaboró en el mantenimiento del manejo ecológico de los recursos productivos.

d) El conocimiento tradicional y el rescate de la cultura

El arraigo cultural ha permitido que se mantenga vivo el prestigio de ésta actividad tanto en el conocimiento de los productores como en el recuerdo de la población.

La agricultura tradicional se ha beneficiado gracias a siglos de co-evolución cultural y biológica y el aporte de los viñateros, al mantener estos ambientes como un patrimonio natural e histórico, los involucra directamente en la preservación de los recursos biológicos y como divulgadores de esos conocimientos.

La transmisión oral y a través del hacer (reproducción del ciclo productivo) es lo que ha permitido su permanencia. Este conocimiento, acrecentado por las nuevas experiencias sociales y el aporte de conocimientos científicos, constituye un proceso en permanente construcción.

5. Reconstruyendo el futuro

El rescate de un producto tradicional como el vino de la costa puede servir de estímulo general a la zona de Berisso, pero la clave estará dada, sin ningún lugar a duda, por visualizar las prácticas agroecológicas que actualmente están desarrollando los viñateros de la costa. Los conocimientos sobre las ventajas de una poda tardía o la implantación de los viñedos cerca del río, son nuevamente utilizados a partir de gestarse la necesidad de su aplicación en la reactivación de la producción local. El desafío es asociarlos a estrategias comerciales que potencialicen las bondades de una producción de tales características.

Ambos valores, lo tradicional y lo agroecológico, permiten revitalizar un producto con arraigo en el consumidor local y colocarlo en otros nichos de mercado que generen

una demanda que le permita a los productores mejorar su calidad de vida conservando un estilo propio de vida.

Cualquier iniciativa local deberá hacer confluir los desafíos que nos presentan esta experiencia: por un lado generar un aumento de la producción con la finalidad de preservar un producto tradicional y asegurar la viabilidad económica de los viñateros y, por otro, conservar el paisaje, la cultura y el territorio que es patrimonio de la humanidad. Se trata de buscar "otro desarrollo" con soluciones endógenas y autonomía en las decisiones a nivel de microregión (Sachs, 1981), poniendo el énfasis en el medio ambiente al lado de sus dimensiones culturales, sociales y económicas.

Altieri MA (1992) Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas. En CLADES (Consorcio Latinoamericano de Agroecología y Desarrollo). ED. Cetal. Chile. pp .1-162.

Nicholls CI (1998) The ecological role of a vegetational corridor and cover crops on the diversity, abundance and impact of natural enemies within an organically managed vineyard in Northen California. Tesis Doctoral en Entomología de la Universidad de California. EE.UU.

Posadas & I Velarde (2000) Estrategias de desarrollo local a partir de productos alimenticios típicos: el caso del vino de la costa en Buenos Aires, Argentina. Problemas de desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía N° 21. 31: 63-85.

Ruiz Castro A (1965) Plagas y enfermedades de la vid. Secretaría General de Investigaciones Agronómicas. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Agricultura. Madrid. 751pp.

Sachs I (1981) "Ecodesarrollo: concepto, aplicación, beneficios y riesgos". Agricultura y Sociedad 18: 9-33.

Producción de alimentos ecológicos en sistemas extensivos en la República Argentina

Carlos Alberto Gonella

1. Ubicación

El establecimiento está localizado en la Estación Experimental Agropecuaria General Villegas, INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) cita en Drabble, partido de General Villegas, Provincia de Buenos Aires, República Argentina, Latitud 34º 55' S y Longitud 62º 44' O, a 117 metros sobre el nivel del mar. La precipitación anual es de 913mm (período 1974 - 1999), con una distribución primavero - estivo - otoñal. El clima es templado con una temperatura media de 16,2º C. Los suelos han sido clasificados principalmente como Hapludoles típicos, de mediana textura, moderada retención de agua y buena provisión de materia orgánica (3,5%), Gonella *et al,* 1999).

La región noroeste bonaerense es una extensa llanura con un sistema de producción predominantemente ganadero - agrícola, representativo de más del 60% de las empresas de la región, sobre una superficie total de 4.200.000has, correspondientes a 13 partidos del noroeste de la Pcia. de Bs. As. El subsistema ganadero caracterizado por una producción de carne de tipo pastoril se puede considerar generalizado para todas las regiones ganaderas del país, cuya productividad es el resultado de la interacción de las condiciones ambientales y del manejo, permitiendo incrementar los potenciales pastura y animal, y un subsistema agrícola caracterizado por los siguientes cultivos de cosecha gruesa: girasol, maíz y soja. El trigo sigue siendo el cultivo más representativo para la cosecha fina, dependiendo la superficie sembrada de su lugar en la rotación y de los precios de los granos gruesos.

2. Contexto regional

Las condiciones agroecológicas de la región Pampeana Argentina permiten realizar una producción de carne sobre la base pastoril, desarrollándose sobre pasturas perennes, pastizales naturales y verdeos estacionales, cuya productividad es el resultado de la interacción de las condiciones ambientales y del manejo. De esta manera se alcanzan niveles

de producción físicos y económicos viables para las empresas agropecuarias en el Marco de la conservación del recurso natural (Gonella, 1999).

Se puede considerar generalizada para todas las regiones ganaderas del país la necesidad de intensificar observando para la actividad invernada una mejora con respecto a la cría. Si bien existen datos de módulos de producción de carne con cifras cercanas a los 1000 $kg.ha^{-1}$.año, el techo de productividad alcanzado en sistemas pastoriles no supera los 600-650 $kg.ha^{-1}$.año, sin suministro de suplementos y con uso generalizado de agroquímicos. En cambio aquellos sistemas que incorporaron la suplementación estratégica superan los 800 $kg.ha^{-1}$.año de producción de carne, aunque son escasos los análisis económicos de rentabilidad y/o ingreso neto disponibles en algunos de estos planteos.

Los actuales sistemas de producción de carne en la región, debido al bajo uso de productos de síntesis química y al manejo básicamente pastoril están muy cerca de pasar de una producción convencional a una ecológica, con la ventaja de obtener un producto diferenciado, demandado por mercados dispuestos a pagar sobreprecios, para satisfacer consumidores que exigen calidad. En la UE dichos mercados tienen un crecimiento superior al 20% anual (Berra *et al.* 1994; Gómez, 1999).

Para las pequeñas y medianas empresas agropecuarias, la obtención de productos con valor agregado les brinda viabilidad económica y, básicamente requieren de bajos niveles de inversión de capital por estar basadas fundamentalmente en tecnologías de procesos. (Gonella, 1999).

Por varias razones, Argentina tiene una situación de privilegio para el desarrollo de una agricultura ecológica, pudiendo mencionar entre otras las siguientes ventajas:

• Diversidad climática y aptitud ecológica para diferentes cultivos.
• Sistemas de producción extensivos, con bajo uso de agroquímicos y que no requieren grandes inversiones de capital para su adecuación a las condiciones de la agricultura orgánica.
• Cuenta con normativas oficiales y una estructura de certificación en pleno funcionamiento, siendo reconocido por la UE como país equivalente desde 1997 para ingresar productos orgánicos, reconocimiento que comparte con Australia, Hungría, Israel y Suiza.
• Existe una asociación que agrupa a productores, asesores, certificadores, docentes, investigadores, exportadores etc. como lo es el Movimiento Argentino para la Producción Orgánica (MAPO).

3. Un cambio a lo ecológico

La principal razón que justificó la toma de decisión de pasar de un sistema de producción de carne convencional al sistema de producción de alimentos ecológicos, fue la

posibilidad de obtener un producto diferenciado, que durante su comercialización incrementase considerablemente el ingreso neto de la Empresa, en el marco de no contaminación del medio ambiente y conservación del suelo. Al mismo tiempo, se propuso mantener y/o superar el nivel de producción física del sistema convencional de producción que se encuentra estabilizado en los 500 $kg.ha^{-1}$.año.

Este fue el camino elegido por productores que, estando en la búsqueda de nuevos horizontes para sus actividades productivas, se alinearon en las diferenciaciones de sus productos, lo que les permite una comercialización en forma directa y acceder a un sobreprecio que mejora el nivel de ingresos de la empresa, asegurando el cuidado del medio ambiente, la salud y el futuro sustentable del sistema de producción.

Los sistemas intensivos de producción de carne bajo pastoreo en rotación con cultivos de cosecha son sustentables en la medida que se compensen las pérdidas de fertilidad de los suelos. De la totalidad de los nutrientes requeridos para el normal desarrollo de las plantas, el nitrógeno es el único elemento que puede ser incorporado por procesos naturales, aprovechando las ventajas de las leguminosas que permiten su fijación desde la atmósfera a través de la fijación biológica.

El nivel de fósforo disponible (Bray-Kurtz) en la capa arable del sistema de producción de alimentos ecológicos, se encuentra por encima del umbral de abastecimiento de las plantas, considerado en 20ppm. La no reposición del fósforo en los sistemas intensivos de producción de carne, llevaría al agotamiento del mismo luego de sucesivos períodos productivos (Díaz Zorita, 1998). Por este motivo, se conducen parcelas experimentales en todos los potreros del sistema de producción con el objetivo de desarrollar estrategias de fertilización con roca fosfórica, debido a los impedimentos en los estándares de certificación de utilizar fertilizantes sintéticos.

4. Descripción del sistema de producción

El Sistema de Producción de Alimentos Ecológicos ocupa una superficie de 205 has, anteriormente dedicadas a la producción convencional de carne, divididas en 9 potreros permanentes, (Figura 1).

La integración del girasol confitero en rotación con el sistema pastoril de producción de carne determina una superficie ganadera del 85,4% (175 has) y una agrícola de 14,6% (30 has) (Figura 2).

El esquema forrajero incluye: 84% de pasturas perennes sobre la base de la alfalfa *(Medicago sativa),* asociada con trébol blanco *(Trifolium repens)* y gramíneas tales como cebadilla criolla *(Bromus unioloides)* y festuca alta *(Festuca arundinacea);* 16% de cultivos anuales invernales (triticale - *X triticosecale*) y un tercio de esa superficie destinada a maíz *(Zea mays)* de pastoreo como verdeo estival el que, en años de excedentes forrajeros, se destina a cosecha (Figura 3).

Cada potrero sigue una matriz de rotación de 9 años, con 6 años destinados a pastura perenne y 3 años a cultivos estacionales en la secuencia Triticale, Girasol *(Helianthus annus),* Triticale, Girasol, Triticale, Maíz de pastoreo, Pastura Perenne (Figura 4).

Figura 1

Esquema y apotreramiento del sistema de producción

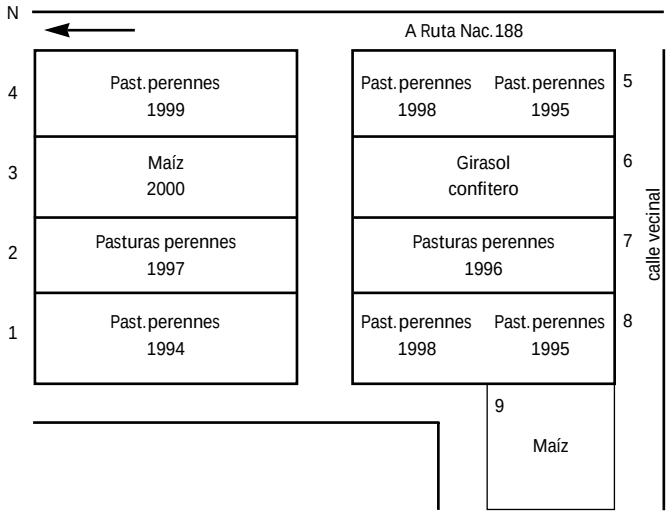


Figura 2

Distribución porcentual de la superficie total.

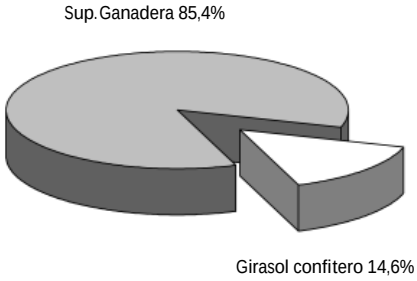


Figura 3

Distribución porcentual de la superficie ganadera

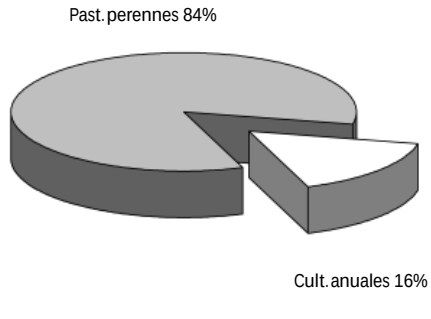
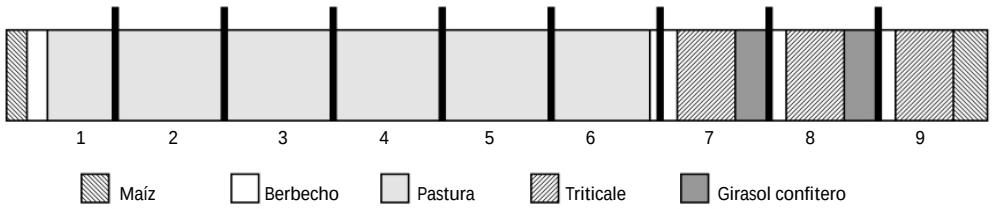


Figura 4

Matriz de Rotaciones



4.1.Manejo y cadena forrajera

Las pasturas perennes se siembran en marzo - abril, utilizándose las siguientes mezclas forrajeras y densidades:

Alfalfa cv. DK 170: 7 kg.ha^{-1}.
Trébol blanco cv. El lucero: 0,2 kg.ha^{-1}
Festuca cv. Pergamino el Palenque: 3,5 kg.ha^{-1}
Cebadilla criolla: 2 kg.ha^{-1}.

La siembra de las pasturas se realiza en líneas separadas 0,15 m (dos líneas de alfalfa + trébol blanco seguidas por una de gramíneas). Como verdeo de invierno se utiliza triticale cv. Tehuelche, a razón de 90 kg.ha^{-1} en líneas a 0,15 m y como verdeo de verano, maíz de pastoreo colorado cv. Colosal sembrado a una densidad de 25 kg.ha^{-1} en líneas de 0,70 m.

Las pasturas perennes se manejan mediante pastoreo rotativo con períodos de utilización y de descanso para primavera - verano de 2 a 2,5 y 28 a 30 días respectivamente. Durante otoño - invierno, los descansos se extienden gradualmente para llegar hasta más de 90 días en pleno invierno. La reducción de la carga animal sobre pasturas perennes permite, en alguna oportunidad, alargar el período de utilización.

La transferencia del forraje primaveral excedente se implementa generalmente en forma de rollos y ocasionalmente como "silopack" (Silo compactado con envoltura plástica confeccionado con 50% de materia seca). Dichas reservas se suministran a todos los novillos desde fines de abril, habitualmente "ad libitum", como complemento de la utilización de pasturas y triticale, con el objetivo de aumentar la carga y mejorar la calidad de la dieta.

El aprovechamiento del triticale se realiza desde principios de mayo hasta inicios de octubre con los destetes ingresados al sistema durante el otoño, empleándose 16 parcelas de 2,75 ha cada una, con períodos de pastoreo y descanso de 2 - 3 y 28 - 35 días respectivamente. La carga animal instantánea varía según la oferta forrajera, siendo de 60/70 Equivalente.Vaca. ha^{-1} desde la iniciación del pastoreo hasta fines de julio; de 30 - 40 E.Vaca.ha^{-1} durante parte de

julio y agosto y de 50 - 60 E.Vaca.ha^{-1} en septiembre y parte de octubre. Cuando las condiciones climáticas indican posibilidad de helada, se practica el encierre nocturno sobre pasturas perennes próximas a roturación y complementadas con rollos a voluntad.

El ingreso de vaquillonas hacia fines de invierno sobre pasturas permite el aprovechamiento eficiente de la oferta de forraje primaveral y un incremento considerable de la producción de carne.

El maíz de pastoreo se utiliza durante el mes de enero y parte de febrero con vaquillonas próximas a terminación en 8 parcelas de 2,75 ha cada una, con una carga animal de 80 - 100 E.Vaca ha^{-1}, con períodos de pastoreo de 3 - 5 días por parcela.

4.2. Control integrado de malezas

Consiste en la utilización de todos los elementos del agro ecosistema que contribuyen a ejercer presión para reducir su incidencia, entre ellos se pueden citar:

a) Control preventivo que se fundamenta en medidas para evitar que nuevas semillas germinen, y se lleva a cabo a través de la limpieza de semilla de maquinaria y de áreas sin cultivo para evitar su difusión a otros sectores.

b) Control cultural, consiste en prácticas agronómicas que tienen una influencia notable sobre la aparición y posterior desarrollo de las malezas. Las rotaciones, el establecimiento de cultivos sanos y vigorosos asociados a prácticas de manejo como fecha de siembra, distanciamiento y densidades de siembra son esenciales para conseguir un adecuado control.

c) Control mecánico se fundamenta en la acción destructiva que tiene sobre las malezas. Los efectos causados por el laboreo son muy variables de acuerdo al tipo de implemento utilizado, las condiciones en que se realiza el control y el tipo de maleza presente.

d) Control biológico puede darse por los enemigos naturales que se encuentran en el lugar o por insectos patógenos introducidos que son capaces de atacar determinadas especies de malezas reduciendo su población hasta niveles aceptables.

El control de malezas en pasturas perennes se realiza por medio de labores mecánicas (corte de limpieza) con desmalezadora. Para los cultivos de cosecha, girasol confitero y maíz, también se utilizan labores mecánicas (escardillo).

4.3. Manejo integrado de plagas

El control integrado de plagas, aparece como un nuevo enfoque en la protección de los cultivos contra las causas adversas de origen animal y vegetal. Su importancia ha ido aumentando siendo la única salida razonable frente al desequilibrio causado por la exclusiva dependencia de los plaguicidas (Vigiani, 1990).

Se entiende como manejo integrado de plagas al uso y combinación de distintas estrategias de control, que permitan mantener una población vegetal y animal en niveles tolerables o compatibles con el desarrollo de los cultivos; es decir por debajo de lo que se considere umbral de daño.

El control de isoca de alfalfa y medidora del girasol, se realiza con insecticida biológico *(Bacillus thuringiensis).*

La experiencia recogida en la EEA del INTA General Villegas, permite vislumbrar el daño de tucuras en la producción vegetal, por esta razón se conducen investigaciones para el control de esta plaga por medio de hongos entomopatógenos.

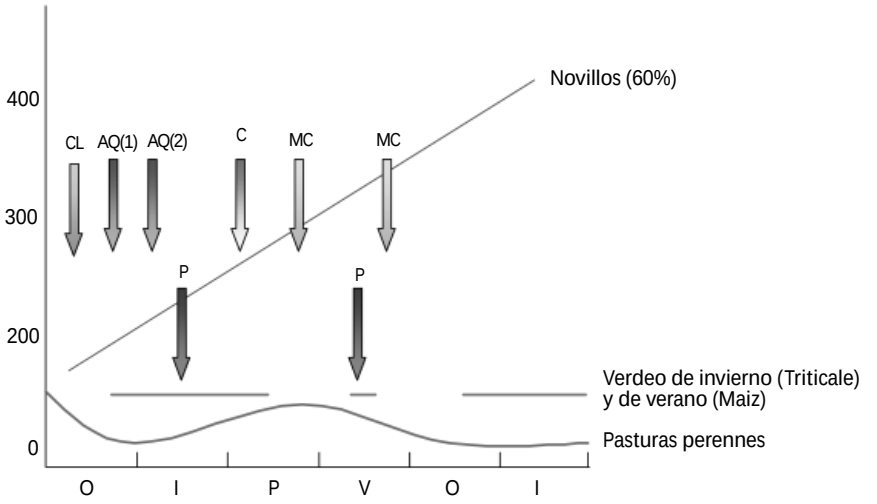
4.4. Manejo sanitario

El objetivo del programa sanitario es prevenir la presentación de enfermedades infecciosas y parasitarias en el ganado mediante la aplicación de un plan de vacunaciones y desparasitaciones estratégicas integradas a un sistema de utilización y manejo de pasturas perennes y anuales (Figura 5).

Las enfermedades infectocontagiosas se previenen mediante las aplicaciones de vacunas contra clostridiosis (mancha y gangrena gaseosa) y queratoconjuntivitis (Pilis de moraxela + IBR) a los terneros que ingresan en otoño y contra el carbunclo bacteriano en octubre, a los animales mayores de un año.

Figura 5

Esquema de tratamientos sanitarios. Referencias **CL:** Vacuna contra Clostridiosis **A:** Antiparasitario **MC:** Control de mosca de los cuernos **C:** Vacuna anticarbunclosa **Q:** Vacuna contra queratoconjuntivitis (1º y 2 º dosis) **P:** Pediluvio



La pododermatitis infecciosa (pietín) se controla mediante la realización de 2 ó 3 pediluvios por día sobre la base de sulfato de cobre a los animales afectados en otoño y primavera, en piletas construidas para tal fin.

Tanto la presentación, como el control de las enfermedades parasitarias, están en estrecha relación con el manejo de las pasturas. Si bien el pastoreo rotativo contribuye a maximizar el aprovechamiento forrajero, el problema parasitario puede agravarse debido a la alta carga animal instantánea y a los pastoreos muy intensivos, que obligan al animal a comer cerca del suelo. Por otro lado, las altas frecuencias de retorno a las distintas franjas de pastoreo, permiten la evolución de los nematodes en la bosta y su posterior traslado a la pastura.

Para minimizar este problema se emplean dos tratamientos antiparasitarios estratégicos en otoño debido a que, por antecedentes, es la época de mayor incremento de la carga parasitaria en animales y pasturas. Los tratamientos se realizan cuando los terneros ingresan a los verdeos de invierno los que, por ser de ciclo anual y no habiendo sido pastoreados antes, ofrecen la seguridad de estar libres de contaminación con larvas infectivas.

Los antiparasitarios que se emplean son endectocidas admitidos por las empresas certificadoras a las dosis recomendadas por el laboratorio. De esta forma, con el empleo de dos tratamientos de un antiparasitario de reconocida eficacia y durante todo el ciclo de producción y la utilización de un recurso forrajero "limpio", minimizamos la infección de los animales y la contaminación de las pasturas con parásitos internos.

El control de *Haematobia irritans* (mosca de los cuernos), se realiza mediante la aplicación de "Pour On" con piretroides al 3% en 2 épocas del año: fin de noviembre y fin de febrero, que son los momentos detectados de mayor recuento de moscas.

4.5. Indicadores físicos y económicos 1991/92- 1998/99

4.5.1. Datos físicos

La producción de carne durante los ejercicios 1991/92 a 1997/98 se mantuvo próxima a los 500kg.ha^{-1}.año con un considerable aumento en el último, cuando alcanzó el máximo de 683kg.ha^{-1}.año (figura 6).

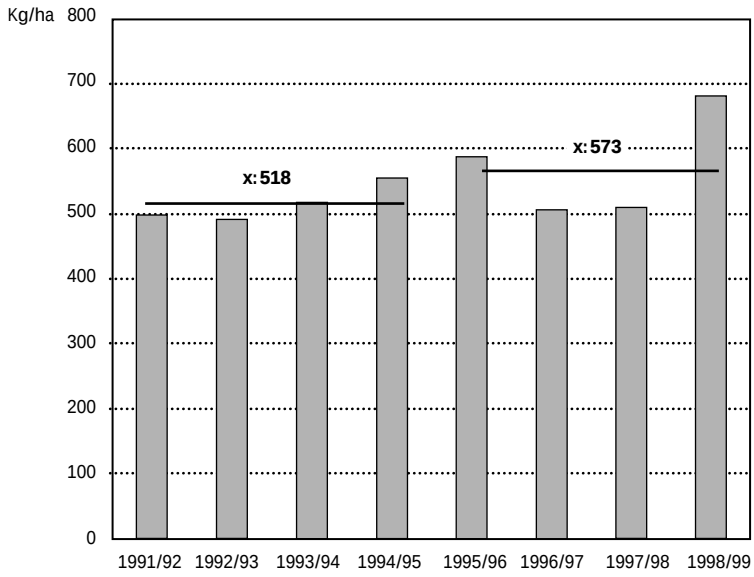
Los resultados obtenidos permiten destacar dos aspectos: i) la elevada producción de carne obtenida en el ejercicio 1998/99, atribuible a una mayor eficiencia en la utilización de los recursos forrajeros como respuesta al pastoreo rotativo intensivo y a la mayor carga animal instantánea, y ii) la factibilidad de mantener los parámetros productivos de sistemas ecológicos en niveles similares o superiores que en sistemas convencionales.

4.5.2. Datos económicos

En el análisis económico se comparan dos períodos: el de comercialización (1991/95) y el de comercialización ecológica (1995/99). Cabe aclarar que, en una primera instancia, la producción ecológica se comercializó como convencional, básicamente por carecer de una demanda de productos diferenciados.

Figura 6

Producción de carne



En la Tabla 1, se muestran algunos indicadores del sistema de producción de carne orgánica para los ejercicios considerados.

Tabla 1

Indicadores económicos.

	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
	U$S	U$S	U$S	U$S	U$S	U$S	U$S	U$S
Ventas	126,800	158,294	120,277	93,377	159,497	168,757	176,068	163,152
Compras	44,446	77,420	77,114	69,487	53,940	67,522	128,843	110,826
Dif. Inventario	22,372	31,031	6,746	25,414	-16,968	-36,356	51,198	2,227
Costos directos	22,405	22,193	21,898	23,299	26,478	22,020	20,690	20,510
Margen bruto	37,577	27,657	28,011	26,005	62,111	42,859	53,473	34,043
MB/ha	214	157	159	148	353	260	324	206
Rel. Compra/venta	1:1,265	1:1,064	1:1,08	1:1,33	1:0,95	1:1,07	1:1,18	1:1,54
Costo por kg vivo					0,346	0,418	0,407	0,301

Se lograron importantes mejoras económicas a favor de la producción ecológica, constituyendo una alternativa factible y viable económicamente, en el marco de la conservación del recurso natural. Estos incrementos fueron:

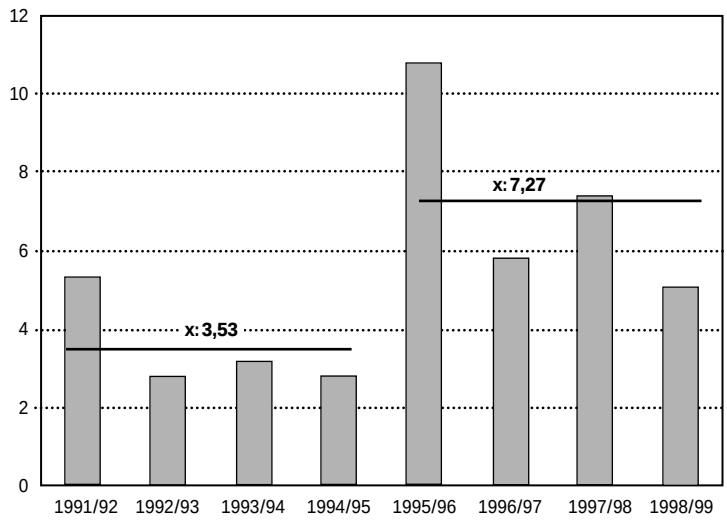
a) Del 68 % para el margen bruto ganadero.
b) Del 169 % en el resultado neto.
c) Del 106 % en el análisis de rentabilidad.

Rentabilidad

El diferencial obtenido en el precio de venta junto a la comercialización en forma directa, permitieron duplicar la rentabilidad de la empresa agropecuaria. En la figura 7 se presentan los datos correspondientes a los períodos analizados.

Figura 7

Rentabilidad de la empresa



5. Conclusiones

Las características del sistema de producción de carne argentino, básicamente pastoril, coloca a nuestro país en optimas condiciones para realizar un esfuerzo que no requiere grandes inversiones y permitiría ampliar la presencia argentina de carnes de calidad diferenciadas en un mercado internacional con demandas crecientes.

Este emprendimiento es para aquellas empresas que están en la búsqueda de una alternativa que les permita mejorar el ingreso neto y/o la rentabilidad con productos diferenciados. Por otra parte, es factible su comercialización a través de nichos de mercados que poseen alto poder adquisitivo, tienen interés en mejorar su calidad de vida y, por lo tanto, están dispuestos a pagar sobreprecios con respecto a los mismos productos convencionales.

Una ventaja de los productos ecológicos a favor de sus similares convencionales, es que los primeros se pueden comercializar en el mercado convencional, no así estos como ecológicos. Aún bajo estas condiciones la alternativa sigue siendo viable puesto que su costo de producción es similar para ambos sistemas de producción.

Hay que tener presente que, para poder acceder a este tipo de oportunidades, hay que contar con la certificación de la producción de acuerdo a las normas orgánicas vigentes. Como se ha visto, este enfoque de producción no requiere de altos insumos y permite a las empresas agropecuarias mejorar los beneficios económicos, preservando a la vez el medio ambiente.

Berra G, PO Gómez, D Monez Cazón & G Schnitmann (1994) Carnes Orgánicas en Argentina. VII Jornadas Ganaderas en Pergamino. Estudio Ganadero Pergamino y Veterinaria Pergamino. pág. 23-31

Díaz Zorita M (1998) Producción de carne bajo pastoreo en Argentina ¿Es una practica sostenible?. In Sustentabilidad de los sistemas mixtos Agrícolo-Ganaderos. AAPA 22do Congreso Argentino de Producción Animal:1-12

Gómez PO (1999) Agricultura Orgánica. Producción de Carne Ecológica. IV Curso de Producciones. Unidad Integrada Balcarce. EEA. Facultad de Ciencias Agrarias p. 5-17

Gonella CA, RA Hernández, LA Pérez & CA Homse (1996) Carne Ecológica. Una Alternativa con ventajas competitivas. Boletín de Divulgación Técnica Nº 1. INTA Estación Experimental Agropecuaria General Villegas. 16 pp.

Gonella CA (1999) Producción de Carne en Sistemas Pastoriles: In Manual de Ganadería Intensiva III Agrotecnología S.R.L. 19 pp.

Gonella CA (1999) Producción de carne sobre verdeos invernales en sistemas ecológicos. Experiencia del INTA, "Mirando el futuro", Jornada de Actualización para Profesionales "Verdeos de Invierno". Estación Experimental Agropecuaria Bordenave.

Gonella CA, RA Hernández, LA Pérez & CA Homse (1999) Producción Ecológica, naturalmente de calidad. Estación Experimental Agropecuaria General Villegas, 48 pág.

Vigiani C (1990) Hacia el control integrado de plagas. Ed. Hemisferio Sur. 124 pp.

Manejo ecológico de yerbales con ovejas. El caso de la familia Klein, Misiones, Argentina

Claudia Noseda

1. Descripción del Lugar

1.1. Características agroclimáticas, suelos y vegetación

La provincia de Misiones, Argentina está ubicada en el extremo NE del país. Limita al SO con la provincia de Corrientes, al Oeste con la República del Paraguay y al NE con la república de Brasil. Tiene una sup. de 30.719 Km^2. y un clima subtropical sin estación seca. El promedio de lluvias es de 1500 a 2000mm, distribuidas a lo largo del año. Las lluvias son torrenciales y la humedad relativa es elevada. El mes más cálido es enero, con T° promedio de 24°C y el más frío es Julio con T° promedio de 15°C. El período libre de heladas es de 7 a 8 meses. Hay más o menos de 10 a 12 heladas.

Su topografía es fuertemente ondulada con serranías que van de los 100 a 800m de altura. El sur es una planicie levemente ondulada con elevaciones aisladas.

Misiones cuenta con innumerables cursos de agua: arroyos y ríos siendo los principales el Paraná, el Uruguay y el Iguazú, sirviendo de límites naturales con los países vecinos.

Sus suelos son rojos y arcillosos, muy erosionables cuando se le quita la cubierta vegetal protectora. Existen distintos grados de profundidad e inclinación que le dan distinta capacidad de uso.

La vegetación natural corresponde a la selva Paranaense: el ecosistema de mayor diversidad del país: 500 especies de aves, 100 especies de mamíferos, 200 especies de árboles. Se encuentran tres distritos: de *las Selvas* con numerosas especies de árboles de 20 y 30m de altura; *de los Pinares:* con la *Araucaria angustifolia* como especie predominante donde se encuentra entre otras especies la *Ilex paraguariensis* o Yerba mate hoy uno de los principales cultivos de la región. Y, por último, el distrito *de los Campos* al sur de la provincia con sabanas de gramíneas y con arbustos y árboles en forma aislada y la selva en galería.

Hoy queda solo un 40% de bosques nativos con distinto grado de explotación. Unas 400.000 ha son áreas protegidas con parques nacionales, provinciales y reservas privadas.

1.2. Aspectos socio-económicos

A pesar de la biodiversidad, el clima subtropical y el tipo de relieve, luego de la etapa de los obrajes donde se extraía la madera de ley y la Yerba mate nativa, el modelo de uso de la tierra fue bajo el esquema de la agricultura convencional para climas templados y relieves llanos. Se tomaba a la selva como un obstáculo que había que vencer. Las colonizaciones estatales o privadas fueron realizadas con gente que vino de distintos países europeos que, si bien al principio cultivaban para el autoconsumo, fueron impulsados luego a los monocultivos de Yerba, Tabaco, Té, Tung, Soja, Citrus según fuera marcando el mercado. Esto dió origen a ciclos de bonanza y de crisis según los precios, y a un rápido deterioro de los recursos naturales.

Las características principales de la estructura agraria en Misiones son: una gran concentración de tierra en pocas manos, hoy sobre todo en manos de empresas papeleras multinacionales y una gran cantidad de productores (unos 30.000) ocupando un tercio de la superficie explotada. Casi el 90% de tiene menos de 100 has. La tenencia de la tierra en estos productores en más del 50% es precaria.

Las actividades primarias más importantes en estos momentos son: la Yerba Mate, el Tabaco, la Forestación; en menor medida los Citrus, Té, Tung, Maíz, Poroto, ganadería mayor y menor. La forestación se reduce casi exclusivamente al *Pino elliotis* y *P. taeda* para el abastecimiento a las fábricas de papel y la realizan las grandes propiedades.

1.3. Sistemas de producción

Según varios estudios se pueden clasificar los distintos sistemas productivos en tres modelos teniendo en cuenta: la superficie total, la superficie cultivada, el tipo de mano de obra, en nivel de ingresos y el capital: *Pequeña Producción Familiar* (con orientación comercial o producción sólo para el autoconsumo): el 70% de los productores; *Producción Familiar Capitalizada* 27% de los productores (hoy en franco proceso de descapitalización) y la *Producción Empresarial* (que a su vez se divide en productores empresariales familiares, empresas nacionales, y corporaciones transnacionales) y representan el 3%.

Los pequeños productores están atravesando una grave crisis dado el mal precio de los productos y la falta de una política de desarrollo rural que los contenga. Dentro de esta realidad, los que están peor son los que solo tienen un monocultivo: ej: Tabaco o Yerba. Y algo mejor están los que mantuvieron una estructura diversificada y con alta producción para el autoconsumo.

El patrón de uso de la tierra tradicional fue: desmontar y quemar, dejando el suelo desnudo, uso de reja y vertedera, cultivar a favor de la pendiente, uso excesivo de rastras. Esto trajo graves procesos de erosión hídrica, pérdida de fertilidad de suelos, ataque de plagas y enfermedades, uso de agroquímicos, disminución de los rendimientos, aumento de costos y disminución de ingresos, abandono de chacras. Se calculan 400.000 ha con distinto grado de erosión.

En el caso de la Yerba Mate, especie perenne, nativa, por estas causas, sumadas a un mal manejo de la planta hicieron disminuir sus rendimientos hasta convertirse en no rentable y la disminución de su vida útil. Hubo agricultores que resistieron a este modelo y fueron precursores de un modelo de agricultura ecológica para esta zona como lo fuera Alberto Roth, Colono Suizo radicado en Santo Pipó, quien además se convirtió en maestro de numerosos agricultores y dejó sentadas las bases de cómo producir en estas tierras.

El presente trabajo describe la chacra de la familia Klein y su manejo, en Garuhapé. Como pasaron de la agricultura convencional a una agricultura ecológica.

2. Descripción de la chacra

La chacra de la familia Klein está ubicada en el lote 90 de la ruta 220, en Garuhapé, Dpto de San Martín al O de la provincia. A 5 km. de la ruta nacional 12. Son pequeños productores capitalizados. Viven en esta chacra desde 1967. Tienen tres hijos, hoy sólo uno vive con ellos.

La superficie total es de 25 has. Su inicio se realizó como es la constante en la provincia: desmonte, y cultivos anuales: Maíz, Poroto, Tabaco, Mandioca *(Manihot suculenta),* y animales para el autoconsumo familiar.

Luego implantaron cultivos perennes: 10 ha. de Yerba Mate y 2,5 ha. de Citrus y forestales como *Pinus ellioti* y Pino Paraná *(Araucaria angustifolia).*

Hoy la chacra tiene una producción diversificada para el autoconsumo y para la venta. Tiene Huerta; 2,5ha de Mandarina y otros frutales como Vid, Mamón, Naranja, Pomelo, Kinoto, Ciruela, Pera, Manzana, Higo, Níspero para el consumo fresco y la elaboración de conservas y dulces.

Sus animales consisten en 4 vacas lecheras, 2 vaquillas, 1 novillo, 5 terneros y un toro. Elaboran quesos para el consumo de la familia y para la venta. Crían cerdos y aves: gallinas, patos, gallinetas. Hacen apicultura.

3. Historia

El manejo de las plantaciones de yerba y citrus lo hacían en la forma convencional: rastreadas dejando el suelo desnudo lo que trajo su "quemadura" (en verano la T° del suelo desnudo puede alcanzar los 50°) y erosión hídrica con formación de cárcavas. Llegó un momento " que ya ni el yuyo crecía". Aumentaron las plagas y el uso de plaguicidas.

Intentaron paliar la situación, recuperar el suelo implantando pasturas (Pasto Elefante) entre los líneos de la Yerba y utilizando herbicidas y carpidas en vez de pasar la rastra. Pero aumentaron los costos y el trabajo.

En el 94 empezaron junto a otros vecinos y motivados por la experiencias de inte-

grantes de la Red de Agricultura Orgánica de Misiones RAOM), a manejar los yerbales y citrus con ovejas. Luego recibieron un crédito del PSA (Programa Social Agropecuario, SAGPYA) para comprar más ovejas y la infraestructura necesaria, capacitación y asistencia técnica.

Se dieron cuenta de que con la agricultura química industrial estaban destruyendo la chacra, su salud y "no le iban a dejar nada a sus hijos y nietos."

4. Objetivos de la técnica

Convertir las "malezas" (tapíz herbáceo natural) en carne; fertilización orgánica del suelo (bosta y orina); recomposición biológica del suelo; mayor ingreso neto por hectárea.

5. Manejo e instalaciones

5.1. Alimentación

Realiza pastoreo rotativo intensivo (PRI), que es una de las claves de esta forma de trabajo. El Yerbal y Citrus están divididos en 9 potreros. Se manejan 7 ovejas por hectárea. Ellos tienen 70 ovejas y en ese número se mantienen. Al cambio de potrero lo realizan por observación del estado del pasto: depende la época del año las cambia cada dos días o cada semana.

En los Citrus meten las ovejas cuando los árboles están grandes. Hacen una limpieza de frutas caídas y mantienen una altura mínima de las plantas.

Realizan un encierre nocturno, fundamentalmente por los robos. Según el Sr. Klein, si las ovejas quedaran en el Yerbal lo abonarían más. De todos modos, la bosta la juntan y utilizan en otros sectores de la chacra. Las ovejas se han acostumbrado y solas, cuando atardece, van para el corral. Suplementan con maíz en el invierno a razón de: 200 g por animal. El servicio es continuo.

5.2. Sanidad

Se le administran monosales en bateas que las ovejas comen a discreción. Las sales son: Magnesita calcinada, conchilla fina, sal pura entrefina, sulfato de calcio, óxido de zinc, sulfato de manganeso, sulfato de cobre, hierro, harina de hueso y iodato de potasio. Esta práctica la realizan a partir de la experiencia que venía realizando un colono de la localidad de 9 de Julio: Ricardo Fridenberger, que primero lo realizó con vacas y luego con ovejas.

Las ovejas van eligiendo la sal a consumir. Esto es luego devuelto en parte al suelo,

enriqueciéndose el mismo y las plantas que en él nacen, provocando un reciclado de minerales. Por otro lado, aumenta la resistencia de los animales a contraer enfermedades. Desde que utiliza este método casi no tiene problemas de enfermedades, desapareció además el problema de abortos que tenía antes de suministrarle las sales.

Tres veces por semana realizan detección de bicheras; desparasitan tres veces al año con "Alvendazol" e "Ivomec", alternándolos.

Las ovejas son de la raza Correidale e incorporó un macho de la raza "Santa Inés", que es deslanado. Tiene un macho para todas las ovejas.

5.3. Organización del trabajo y manejo

El trabajo es exclusivamente familiar. Las tareas que realizan son: el cambio de potreros, la desparasitación, la esquila de las ovejas, y la cura de las bicheras.

5.4. Instalaciones

Consisten en un corral de encierro, aguada, alambrado eléctrico de tres hilos (dos están electrificados), alambrado perimetral. Tiene un pediluvio pero nunca usó, ya que no tiene problemas de Pietín.

6. Indicadores del sistema

Desde su implementación se han producido algunos cambios importantes en la finca, que pueden resumirse en los siguientes indicadores:

• Aumento del rendimiento del yerbal: 7 TM de hoja verde por ha, a los dos años de implementada esta práctica. No hay datos precisos pero cosecha 25.000 Kg. más por año. Y los rendimientos se van manteniendo.
• Menor dependencia de insumos externos. (ni herbicidas, ni agrotóxicos, ni gas oil.)
• Menor intoxicación del agroecosistema por venenos, ya que se prescinde totalmente de ellos.
• Aumento de la sanidad de las plantas. Menor ataque de plagas. Terminó el ataque de "Rulo de la Yerba Mate" (*Gyropsila spegazziana,* una de las plagas más importantes de los Yerbales), menor ataque de "Kiritó" (*Hedypathes bettulinus,* otra de las plagas de mayor incidencia económica) a niveles que no perjudican el cultivo; mayor presencia de hormigas benéficas y disminuyó el ataque de hormigas debido a sus enemigos naturales y porque la bosta de oveja parece que produce un ácido que cuando hay mucha humedad destruye el hongo de los hormigueros. En los Citrus disminuyó el ataque de Mosca.
• Disminución y mejora del trabajo de la familia. "Es mejor cuidar de la majada que estar al rayo del sol carpiendo las plantas en pleno verano".

• Disminuyó la erosión: había pedazos donde se habían formado cárcavas, quedaba colgado el tractor: en cuatro años de este manejo este problema desapareció. Hoy está todo cubierto por un tapiz herbáceo.
• Recuperación de la vida del suelo: se ve la presencia del "Virabosta", cascarudo que va haciendo un trabajo de descomposición de la bosta, y con sus galerías aumentó la aireación y capacidad de infiltración del suelo. Este cascarudo desaparece cuando se usan herbicidas y fertilizantes químicos. Es un indicador biológico de la actividad viva del suelo. La bosta aumenta la actividad biológica, no solo por servir de alimento a los macro y microorganismos del suelo, sino que además incorpora al suelo microorganismos procedentes de su sistema digestivo y los minerales. El aporte de N también aumenta la actividad biológica. Aumento de presencia de lombrices
• Aumento de la cobertura del suelo: en espacios donde el suelo estaba desnudo.
• Disminuyó notablemente "el Cola de Zorro" que indica suelo compactado, apareciendo otros pastos y disminuyendo la presencia del "Helecho", que indica suelo muy ácido.
• Suelos con mayor porcentaje de materia orgánica (un Yerbal con ovejas puede aportar entre bosta y orina alrededor de 15 toneladas de MO.ha^{-1}.año).
• Diversificación del ingreso por la venta de carne de corderos.
• Disminución de los costos.
• Aumento de ingresos: por la disminución de costos, aumento del rendimiento de la Yerba y la venta de corderos.
• Aumento de la biodiversidad por la incorporación del animal y la mayor complejidad actual del tapíz herbáceo natural.
• Aumento de la estabilidad del sistema.

7. Cálculo económico

Tabla 1

Yerba sin ovejas	**Yerba con ovejas**
Ingreso Yerbal (7000 kg.ha^{-1}): $140	Ingreso yerbal (7000 kg.ha^{-1}): $140
Gastos (herbicida, desmalezado)*: $100	Ingreso neto: $140
Ingreso Neto: $40	Ingreso por oveja: $35
	Ingreso neto total: $175

*Herbicida: 2 aplicaciones. 6 l / ha. 2 jornales.
Una carpida selectiva: 2 jornales.

La Yerba que vende el Sr. Klein no está identificada como orgánica. Entra dentro del circuito de comercialización tradicional de la Yerba, hoy completamente en crisis. No les conviene cosechar. El precio que reciben es 0,025$ por kg. en planta. La oveja cubre los gastos de manutención con la venta de los corderos.

El Sr. Klein en el año 96, a 4 años de haber empezado con este manejo, nos decía: *-"...Yo veo una gran mejoría en el suelo. Si lo hubieras visto, esto eran calvarios o tierra muerta. Una vez que hay malezas te da la pauta de que hay vida en el suelo, que hay probabilidades de mejorar. Las ventajas de este sistema para mí son muchas: menos trabajo, hay quienes dicen que voy a fracasar porque la oveja pisotea mucho pero no pisotea tanto como el tractor, además el Virabosta (Cascarudo) hace galerías muy hondas para poner sus huevos, están haciendo desaparecer las manchas desnudas: se echan defecan ahí, orinan luego viene el Virabosta y hace su trabajo. Si cae un aguacero ya no se lava tanto: la maleza ataja y el agua infiltra. En este sistema la gente debe vivir en la chacra porque la oveja es un animal que necesita al hombre en este clima..."*

8. Análisis general y antecedentes de esta práctica

Se conocen agricultores que realizaban este manejo en los comienzos de la colonización. En estas últimas dos décadas se conocen como antecedente el productor Sr. Roach en Puerto Esperanza. Y un colono en Almafuerte. Luego retoma estas experiencias el productor Otto Waidelich en Colonia Andresito quien fue el gran difusor del tema.

Por lo tanto, no es una práctica surgida en laboratorio sino que es el rescate de experiencia de los agricultores que la van recreando y enriqueciendo como es el uso de las monosales. Esta es una de las bases de la agroecología: el respeto y rescate de prácticas de los agricultores.

Para difundir esta práctica se hicieron numerosos talleres de capacitación de técnicos, productores, visitas a las experiencias. Hubo quienes se entusiasmaron, como el Ing. Roberto Cametti quien trabajó mucho para promocionar esta actividad y hablaba de "cuencas" de Yerbales con ovejas. Y también hubo quienes la detractaron.

En el 2000 son más de 100 los agricultores y agricultoras que están realizando este manejo en San Pedro, San Vicente, Aristóbulo del Valle, Garuhapé, Montecarlo y Andresito. Esta expansión se vio favorecida por la existencia de la RAOM que actuó como capacitadora y, como su nombre lo indica, fue uniendo a las personas que estaban interesadas en una producción agroecológica.

Luego el PSA: un programa dirigido a pequeños productores de la SAGPYA, contribuyó coordinando con la RAOM, INDES (Instituto de Desarrollo Social y promoción Humana), Proyecto de Desarrollo Rural de la Pastoral Social de la Diócesis de Iguazú, Cambio Rural del INTA para el desarrollo de esta práctica. También hay otros productores más grandes que están llevando a cabo esta práctica.

Los aspectos del manejo que hacen a la sustentabilidad son: tranformar para producir en vez de matar para producir. Introducir el animal en el sistema con un buen manejo.

9. Aspectos a mejorar

A pesar de que este sistema presenta mejoras respecto al sistema convencional de manejo usado en la zona, aun quedan varios aspectos por mejorar. En general son problemas de manejo o técnicos.

Respecto a la raza de oveja más apropiada, no hay una única opinión en este tema. Están los que opinan que debe usarse la oveja deslanada: por ser más adecuada a la zona, más rústica, que no sufre tanto el calor, no se abicha tanto pero tiene menos carne y no tiene lana y se evita el trabajo de esquila. La oveja con lana: da más trabajo (por la esquila), tiene mayor problema de bicheras, y un bajo precio de la lana. La otra posibilidad es usar razas carniceras como la Sufolk, que ya algunos están utilizando. En general cuesta conseguir animales rústicos y buenos.

Se recomendó al inicio de esta práctica la utilización de vientres doble propósito y luego hacer cruzamientos absorbentes. Pero la decisión de qué raza usar queda a criterio de cada agricultor de acuerdo a su sistema. A su vez, aún falta mayor capacitación en esquila.

El manejo tiene que ser ajustado; si no, hay problemas sanitarios: parásitos internos pulmonares y gastrointestinales; abortos; Pietín; Miasis. Es necesario un calendario sanitario y un control de las mismas. Sobre todo para quienes no están administrando sales minerales.

Problemas de incorporar el animal al sistema si no se realiza el manejo adecuado: puede haber sobrepastoreo: a veces hay necesidad de suplementación en invierno o en ovejas con necesidades mayores según ciclo productivo, hay que mejorar el PRI (mayor subdivisión, rotación) para evitar peligro de compactación del suelo.

10. Limitantes de multiplicación de esta práctica

A pesar de los aspectos positivos, existen algunos inconvenientes para su mayor difusión. Entre ellos, el mal precio de la Yerba hace que la gente directamente ni coseche. La falta de créditos accesibles para el inicio de la actividad, es otro problema.

A pesar de esto, es interesante resaltar que, en estos momentos, muchos de los colonos que manejan sus yerbales con ovejas están priorizando a éstas ante el mal precio y perspectivas de la Yerba. Y están dándole uso a la lana en la fabricación de mantas, acolchados.

Es una actividad recomendable para pequeños productores que viven en sus chacras ya que pueden hacer un manejo y adecuado control de las ovejas.

Cuando lo pequeño puede ser grande. Experiencias agroecológicas de una finca campesina en Cuba

Fernando Funes-Monzote y Jorge del Río

1. Introducción

Hace 20 años, a finales de 1979, llegó Ernesto González con su familia a "El Campestre", lugar donde hoy maneja con éxito una pequeña finca de seis hectáreas, que a partir de la diversificación e integración se ha ido tornando cada vez más y más grande. Al llegar solo encontró una nave, que a decir de los pobladores de la zona, fue en los años 40-50 utilizada para corte de tejidos con destino a la Ciudad de La Habana. Después sirvió de campamento y oficinas para macheteros (cortadores de caña) y posteriormente fue asignada como vivienda a un obrero, quien unos años más tarde decidió mudarse hacia el pueblo de Bauta. Fue entonces cuando Ernesto y su padre vieron la oportunidad de asegurar un lugar más prometedor para el futuro de sus hijos y nietos (Figura 1).

"El Campestre" es un pueblo limítrofe al suroeste de Ciudad de La Habana, cerca de Punta Brava y pertenece al municipio Bauta. Es buen lugar para cultivar, cerca de los mercados, con buenas vías de acceso y donde la mayoría de sus pobladores tienen experiencia de campo.

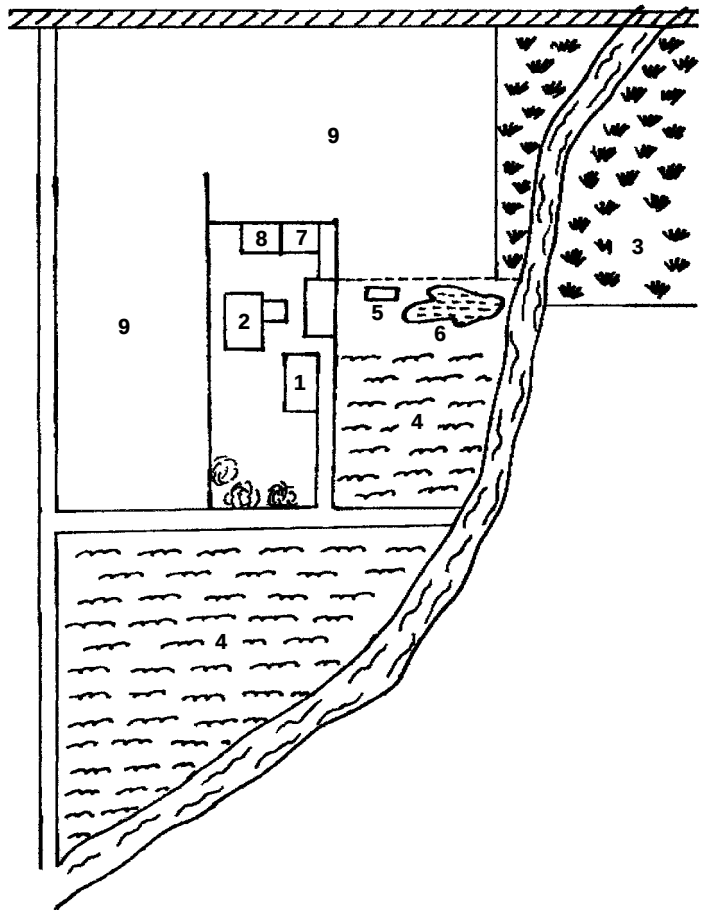
La casa tenía un área de tierra a los alrededores de casi una hectárea, que estaba cubierta por malas hierbas y no era explotada. Después de limpiar el terreno y prepararlo para sembrar algunos cultivos, la adquisición de una vaca fue la manera de mejorar la calidad de la alimentación de la familia, pero el propósito no iba más allá de esto. El trabajo se hacía los días de descanso y la complejidad no podía ser mucha porque Ernesto trabajaba fuera de la casa como operador de equipos de bombeo, por lo que el tiempo era limitado. No obstante, en esa época se comenzó a gestar la idea de incrementar la capacidad de producción y sustento de la finca.

Poco a poco Ernesto aumenta el ganado, cuando adquiere el "patrón" que le cede un campesino de la zona al venderle una vaca y esto le convierte en propietario de ganado, llegando así al número de seis vacas en el año 1985. Entonces decide dedicarse por

Figura 1

Esquema de la finca

1 Vivienda
2 Nave de ordeño y sombra
3 Área de pastoreo
4 Área de cultivos
5 Biodigestor
6 Laguna para peces
7 Corrales para cerdos
8 Jaulas de conejos
9 Fincas vecinas



entero a las labores de campo en la finca y deja de trabajar en la estación de bombeo. Esta primera etapa se caracteriza por el establecimiento de los sistemas de manejo de la finca y la creación de la infraestructura necesaria para echarla a andar.

Las seis vacas eran pastoreadas de día en áreas comunales, guardarrayas (divisiones de los campos de caña), campos de caña de desecho y en demolición que rodean la finca y por las tardes consumían forraje que era comprado a una empresa cercana al precio de $9.00/t (pesos cubanos) y pacas de heno a $1.00/paca. Desde entonces se definió que el propósito principal de la finca sería la producción de leche y a pesar de no contar con tierras suficientes para mantener a los animales, comenzaron a desarrollar estrategias que aseguraran la alimentación del ganado. Asimismo el área agrícola se empezó a manejar con una concepción un poco más intensiva, aumentando el número de productos y cultivos que ya no solo se sembraban para el consumo familiar, sino también para la comercialización.

Desde que Ernesto se incorpora a la finca a tiempo completo, acelera la creación de condiciones para el alojamiento de los animales a partir de la fabricación de naves (hechas con pocos recursos y materiales de desecho en gran parte, pero con un diseño apropiado y bien concebido), la siembra de árboles frutales y postes vivos en las cercas y en sentido general comienza a hacer un manejo más racional de los recursos con que contaba.

En los alrededores existen varias fincas pequeñas de entre una y cinco hectáreas que explotan la tierra para el consumo familiar. La mayor extensión de tierra la tiene una Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) de caña que cuenta con infraestructura, maquinaria, buenas tierras y emplea un esquema de altos insumos para este fin, así como la empresa Genética Pecuaria "Niña Bonita", con la cual Ernesto tiene contratos de entrega de leche a la industria y recibe algunos insumos productivos.

A principios de los 90, dadas las difíciles condiciones a las que se enfrentó Cuba con la ruptura de sus principales nexos comerciales debido a la caída del campo socialista de Europa del Este, se deterioró rápidamente la producción ganadera. A raíz de esta situación, el gobierno solicitó la cooperación de los campesinos sin compromisos de entrega de leche, para aportar algún nivel de producción que supliera parte de la demanda de la población local, fundamentalmente para la alimentación de los niños y otros sectores más vulnerables de la sociedad (ancianos y enfermos).

Así fue que Ernesto comenzó a hacer aportes voluntarios a un niño de la comunidad, a precios bajos (25 centavos por litro), según la ley de subsidio del mercado nacional de la leche. Al inicio fueron 2 litros diarios, después 3,4,5 y más a partir de la producción que obtenía en áreas comunales. En estos momentos entrega establemente más de 10 litros de leche/día, por lo que es considerado pequeño productor de avanzada y recibe una pequeña cantidad de alimento concentrado (± 100 $kg.mes^{-1}$), que es usado fundamentalmente para los terneros.

Al mismo tiempo el hijo de Ernesto, Edel, que había estudiando para técnico medio en mecánica automotriz y había estado trabajando por un año en una granja de producción de ocas, decide incorporarse como pequeño agricultor a trabajar en la finca, con lo que aumentan los brazos para hacer producir el pedazo de tierra. Ahora es Edel quien ve en el campo un lugar más prometedor para sus hijos y nietos.

En 1997, el gobierno le entregó 2,5 hectáreas de tierra en usufructo a solicitud de Ernesto, para poder afrontar el compromiso de producción de leche contraído y por la necesidad que tenía la finca de potreros para el pastoreo del ganado. Dos años después le fueron asignadas otras 2,5 ha con las que la finca alcanza su dimensión actual. Con la entrega del primer pedazo de tierra contrae un compromiso oficial de producción de leche que lo convierte en productor privado bajo plan y con ello comienza una nueva etapa de la finca. El mecanismo de colecta y distribución de la leche se realiza a partir de un centro colector que han organizado los productores pequeños del pueblo, al cual tributan la leche y a este punto viene un camión cisterna que la lleva a la industria. Ernesto asegura que ahora es que está empezando a estabilizar su sistema, pero que aún queda mucho por hacer:

"El trabajo y la constancia serán muy importantes para seguir teniendo el mismo o mayor éxito que hasta el presente".

Tabla 1

Etapas por las que ha atravesado la finca

Inicio (1980 - 1990)	Intermedia (1990 - 1997)	Actual (1997 - 2000)
• Producción animal y de cultivos solo para el consumo familiar • Inicio de la comercialización de productos en el mercado (finales de los 80) • Poca infraestructura • Baja intensidad de fuerza de trabajo (familiar). Trabajo manual • No cercados • Mala situación de vivienda y poco confort • Trabajo fuera de la finca hasta 1985 • Atenciones culturales limitadas	• Incremento de la actividad pecuaria y agrícola para la comercialización (plan de entrega de viandas, frutas y leche) • Creación de infraestructura, naves para animales, mejoramiento de casa, etc. • Trabajo a tiempo completo en la finca • Incorporación a la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP) • Incremento de la masa vacuna • Incremento del trabajo • Contratación de personas • 1990 - Obtención de licencia para la producción de carne de cerdo (visita veterinaria) • 1994 - Inicio de contrato de producción cunícola. En 1996, 1,5 t de carne cunícola	• 1997-Entrega en usufructo de 2,5 hectáreas de tierra • 1999-Entrega de otras 2,5 hectáreas de tierra en usufructo • Aumento del ganado vacuno en producción • Inicio de convenios para la producción de carne de cerdo • Incremento de la fuerza de trabajo humano (contratación de 3 hombres vinculados a los resultados productivos) • Incremento del nivel de biodiversificación y propósitos productivos • Mejoramiento de la maquinaria • 1998 - Establecimiento de biogas para la fabricación de combustible y abono • Incorporación de lombricultura para la fabricación de humus de lombriz • Inicio de sistema para la ceba de pollos • Mejoramiento de la infraestructura (pozo para extracción de agua para riego, cercados, etc.) * Incorporación de espejo de agua para cría de peces
Poca complejidad en el manejo de la finca	*Aumento de la complejidad de la finca*	*Manejo agroecológico e integral. Dos estrategias de desarrollo*

En la finca se desarrollan dos estrategias basadas en el uso de recursos alimentarios, de comercialización y de sustento:

La primera potencia los recursos internos o propios, los que constituyen la base para el funcionamiento de los procesos productivos. Entre estos recursos está la biodiversidad funcional creada de plantas y animales, el suelo, el agua y los recursos humanos, quienes con su capacidad creadora ponen en funcionamiento el sistema que en conjunto construyen su sostenibilidad. Además, podemos incluir el aprovechamiento de las fuentes de

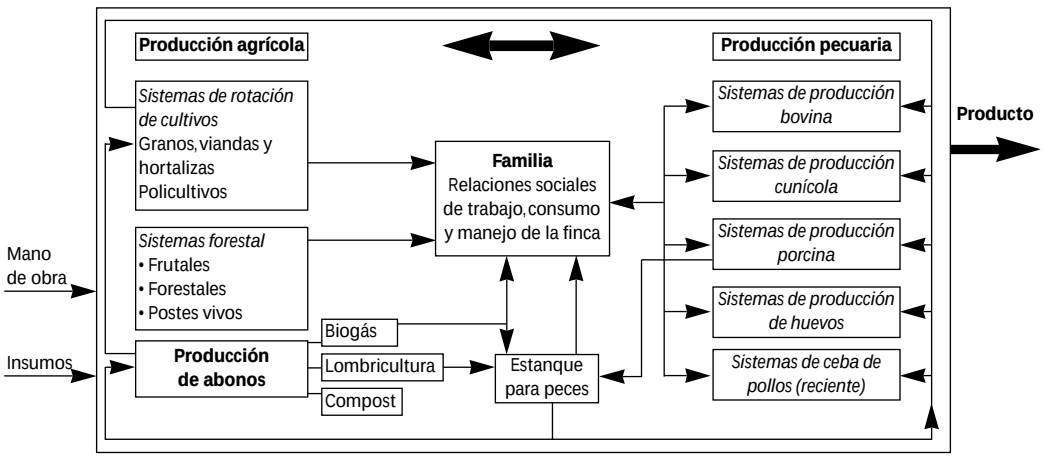
recursos en la localidad, a partir del uso de áreas comunales que son aprovechadas para la alimentación del ganado.

La segunda estrategia es más abierta al entorno, y considera las fuentes de ingreso en nutrientes, facilidades de alimentación, capital y recursos que puedan potenciar las capacidades productivas de la finca, pero que entran a jugar un papel más vinculado al mercado y a los compromisos sociales de incorporarse a programas de producción de proteína que el gobierno ha promovido entre los productores privados. Esta segunda estrategia puede considerarse coyuntural y menos sostenible, si tenemos en cuenta la dependencia de recursos externos. Sin embargo, constituye una importante fuente de ingresos que contribuye al funcionamiento de la finca.

Es muy difícil cuantificar las producciones que se obtienen de un sistema como este basado en la diversidad de estrategias productivas y donde el arreglo espacial y temporal de cada componente en relación con el otro definen las capacidades productivas más que cada uno solo por separado. Seguidamente describiremos las particularidades de cada subsistema de producción y conoceremos cuáles son sus características principales, los niveles productivos alcanzados y cómo se relacionan entre sí y con el entorno.

Figura 2

Esquema de las interacciones entre los diferentes sub-sistemas Finca de Ernesto González,"El Campestre"



2. Sistema de producción de leche y carne vacuna

Actualmente la finca sostiene un rebaño de 10 vacas lecheras, 2 toros, 3 terneras, 1 ternero, 3 novillas y 1 añojo, esto significa una carga global sobre el sistema de 3 ani-

males. ha^{-1} y de 7 animales. ha^{-1} sobre el área de pastoreo, lo que presupone un uso intensivo del terreno. La siembra de forrajes como el King grass *(Pennisetum purpureum)* y los pastos naturales (dentro y fuera de la finca) y cultivados son la base de la producción de leche. Más del 70% de la alimentación se garantiza por esta vía.

Además de lo antes citado y fundamentalmente en época seca, el ganado consume bagacillo (subproducto de la molienda de la caña de azúcar) y miel final, subproductos procedentes del central azucarero cercano y forraje verde cuando está disponible en la empresa pecuaria vecina o bien de otras fuentes.

La combinación de estas estrategias de alimentación a partir de pastos y forrajes, asegura un promedio de 6 vacas/día en ordeño durante todo el año, las que producen de 8-10 litros de leche en época de lluvia y alrededor de 5-6 $litros.día^{-1}$ en época seca cuando la disponibilidad de alimentos es menor. Esto representa alrededor de 14.000 litros de leche anual, cerca de 10 000 en lluvia y 4 000 en seca, lo que significa un rendimiento de 2.300 $litros.ha^{-1}$ sobre el área total de la finca y 5600 $litros.ha^{-1}$ sobre el área dedicada a pastos y forrajes. También se logra vender al menos 2 $animales.año^{-1}$ de 250kg de peso vivo.

Los niveles productivos por área alcanzados en el sistema de producción vacuno solo a partir de pastos y forrajes, son considerados muy altos para las condiciones de Cuba y demuestran por sí solos el potencial productivo que puede tener una finca bien manejada dedicada a ganado. En la región donde se ubica la propiedad sólo se obtuvieron rendimientos similares a partir de sistemas basados en el uso de concentrados y altos insumos que hicieron insostenible el modelo. Se buscan vías para la recuperación del sector ganadero sobre bases sostenibles, puesto que representa una actividad económica importante.

3. Sistema de producción agrícola

El sistema se basa en una agricultura de secano con la utilización de variedades de cultivos resistentes a condiciones de sequía (Tabla 2). Solo en pocos casos se ha aplicado riego cerca de las fuentes de agua. En el presente se encuentra en instalación un sistema de bombeo de agua para riego, con el que se incrementará notablemente el potencial productivo de la finca.

En áreas agrícolas se destaca el establecimiento de siembras de cultivos para la alimentación de los animales como es el caso de la soya, suministrada en forma de "soymata" para conejos y cerdos, así como la utilización de subproductos de cosecha, principalmente de boniato, yuca y maíz para la alimentación del ganado vacuno, cerdos y conejos. Además, el estiércol proveniente de todas las especies animales es colectado y utilizado para la fertilización de los cultivos, siendo procesado como humus, compost o aplicado después de curado, cumpliendo así el principio de integración agrícola - ganadera, donde se potencian los mecanismos sinérgicos.

La rotación de los cultivos, los policultivos y una eficiente utilización del terreno se convierte en la clave del mantenimiento de la productividad constante, junto a una nutrición

adecuada que se basa en el reciclaje del lodo producto de la digestión del biogás. Los principales policultivos empleados son: maíz-calabaza; boniato-maíz, yuca-frijol y frijol-maíz.

Tabla 2

Composición de la biodiversidad de cultivos para el consumo humano, la comercialización y la alimentación animal como subproducto

Sistema Agrícola			
Hortalizas	Viandas	Granos	Árboles
Tomate *Licopersicon esculentum*	Plátano *Musa sp.*	Frijol *Phaseolus vulgaris*	Mango *Mangifera indica*
Lechuga *Lactuca sativa*	Yuca *Manihot sculenta*	Maíz *Zea mays*	Guayaba *Psidium guajaba*
Pepino *Cucumis sativus*	Boniato *Hipomea batatas*	Maní *Arachis hypogaea*	Coco *Cocos nucifera*
Col *Brassica oleracea*	Calabaza *Cucurbita pepo*	Soya *Glycine max*	Chirimoya *Annona cherimolia*
Ají *Capsicum annum*	Malanga *Xantosoma sp.*	Ajonjolí *Sesamum indicum*	Palma real *Roistonea regia*
Rábano *Raphanus sativus*			Piñón americano *Jatropha curcas*
Cebolla *Alium sativum*			Piñón florido *Gliricidia sepium*
Habichuela *Vigna sp.*			Almácigo *Bursera simaruba*

La combinación de prácticas campesinas de siembras, cultivo, así como el laboreo mínimo, la tracción animal y el uso de implementos menos agresivos al suelo como los arados criollos, la biodiversidad creada, junto al trabajo permanente, permiten la obtención de resultados realmente sorprendentes en términos de productividad del terreno. Esto se pude comprobar a partir del análisis de las producciones obtenidas en el sistema.

4. Sistema de ceba para cerdos

Desde el año 1997, en coordinación con el Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP) cercano a la finca, Ernesto comenzó a participar en convenios de producción porcina. En el último año ha comenzado a colaborar con la realización de experimentos sobre alimentación de cerdos basado en la utilización de los derivados de la caña de azúcar como principal fuente energética en la ración.

El sistema de ceba convenido consta de lotes de 50 cerdos en ciclos de 135 días, que alcanzan alrededor de 90kg de peso vivo al final de la ceba. Esto permite completar de 2,5 lotes por año con un componente de concentrado de 1 $kg.día^{-1}$ por animal, que se complementa a partir de restos de cosecha y subproductos agrícolas. Esto permite producir 11 250kg de carne de cerdo.$año^{-1}$ que significa un importante ingreso para financiar el funcionamiento de la finca.

La "miel B", producto de la fabricación del azúcar es empleada como componente energético principal de la dieta, al ser un sustituto óptimo del maíz para la alimentación

de los cerdos por su valor energético. Además, se suministran al animal las proporciones de proteína necesarias e imprescindibles para su desarrollo corporal y productivo, evitando así que se desperdicie gran cantidad de proteína en la excreta al no ser asimilada por el animal y que pasa a constituir un contaminante. En Cuba y en las regiones tropicales en general, las fuentes de energía a partir de los cereales para el consumo animal son deficitarias, por tanto, el uso de los subproductos de la industria azucarera se convierte en una óptima solución para este fin.

Este sistema está concebido a partir de la importación de nutrientes, por tanto menos sostenible. Sin embargo, su viabilidad económica y productiva son su principal incentivo, además de la utilización de recursos disponibles en la localidad, que son un componente importante de su funcionamiento.

Adicionalmente a la producción de carne de cerdo convenida, se producen 4 animales.año-1 de aproximadamente 100kg para el consumo familiar como parte de la estrategia de autoabastecimiento y autosuficiencia.

5. Sistema de producción cunícola

La producción cunícola como parte del programa de producción de proteína animal, fue estimulada desde hace algunos años en el país para incentivar a los productores pequeños de las ciudades a la cría de conejos para la producción de carne. Esta actividad se inició en la finca durante el año 1994 con la compra de 30 reproductoras y de una pequeña cantidad de alimentos para iniciar la cría.

Ya en el año 1996, a partir de este contrato, se aportaron 1,5 toneladas de carne de conejo, más una producción estimada extra al contrato que puede haber llegado a 2 toneladas a partir de una alimentación basada en pastos y forrajes. Ernesto cuenta que en un período faltó el suministro de alimentos por la vía del convenio y se utilizó una alternativa que consistió en una mezcla de forraje de soymata, que es la planta de soya completa antes de madurar el grano, gramíneas (king grass, guinea, etc.) y otras leguminosas. El sistema utilizado permite lograr un peso de 2-3kg en 2½ meses, lo que demuestra su gran efectividad.

Una reproductora obtiene como promedio 8 gazapos por parto. Con 30 reproductoras se logran alrededor de 240 animales.mes^{-1} que llegan a ser alrededor de 400 a los dos meses. Cuando se establece una escalera adecuada y con un buen manejo, se logra producir gran cantidad de carne de conejo a bajo costo. Ernesto asegura: “Nosotros nos atrevemos a montar un sistema con 100 reproductoras de conejo, pero ahora sí, hay que buscar un camión para cargar los conejos. Es incalculable lo que produce el conejo... Hemos logrado estas producciones con 30 reproductoras, pero podemos producir mucho más... Ahora, es necesario conocer bien el sistema, cómo funciona y dedicarse a manejarlo. El concentrado es importante en la alimentación de los conejos, pero la base lo constituye el forraje que obtenemos de la finca, de gramíneas y leguminosas”.

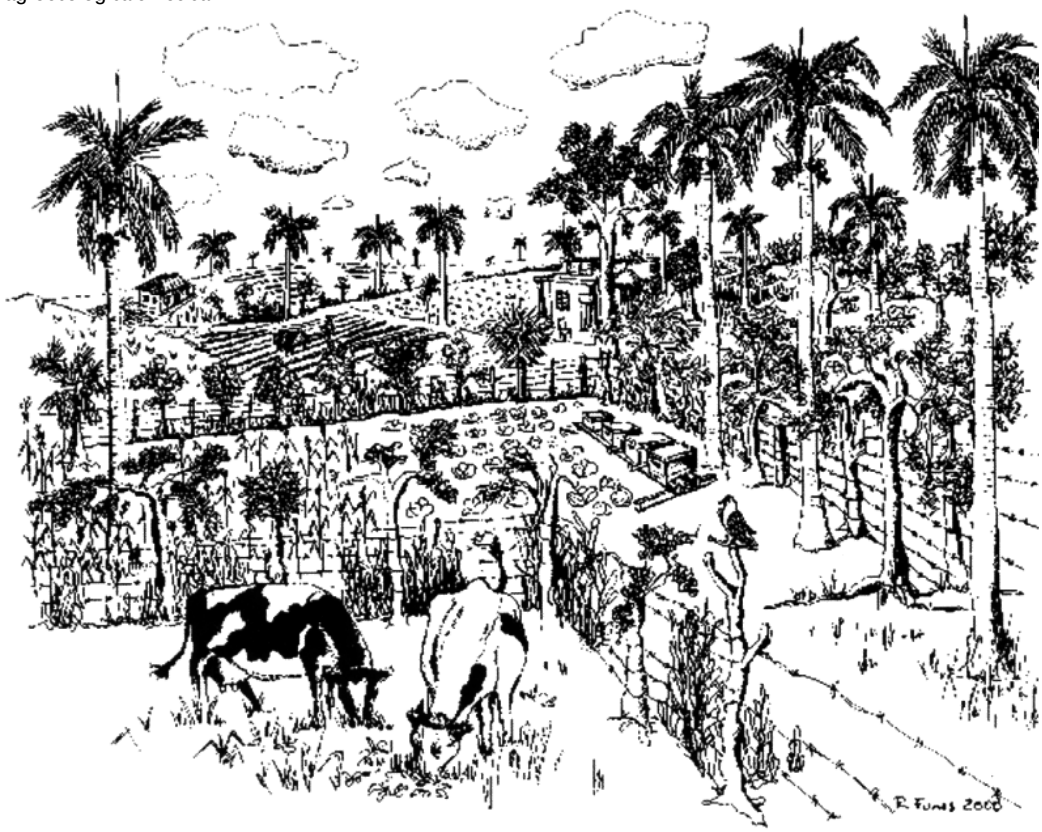
6. Sistema de producción de huevos

La producción de huevos es parte de la diversidad de estrategias productivas y se considera una actividad secundaria, sin embargo, los niveles de producción que se logran son parte de las salidas productivas totales. Las gallinas llamadas "rústicas", obtenidas del cruzamiento de Rhode island y la Criolla cubana, son óptimas para sistemas de crianza en patio por su resistencia a enfermedades y poca exigencia de alimentos, son considerados animal de doble propósito: huevos y carne.

A partir de los residuos de cosecha y otros alimentos de baja calidad se logra una puesta de alrededor de 10-15 huevos diarios a partir de 20 gallinas que se alimentan en un 30% con granos y otros alimentos obtenidos en la finca y el resto lo consiguen pastoreando por los alrededores. Estas producciones contribuyen a la alimentación de la familia y son también una fuente de ingresos a partir de su comercialización.

Dibujo

Paisaje de una finca agroecológica en Cuba



7. Biodigestor para la fabricación de biogás y abono

En agosto de 1998 se decidió la instalación de un digestor anaerobio para la depuración primaria de los residuales porcinos y la obtención de gas y bioabono. Para este fin, Ernesto manejó varias soluciones hasta decidir instalar el más económico y de menos complejidades constructivas. Seleccionó un biodigestor de polietileno disponible en el mercado de forma tubular, diámetro de 1,60m, espesor de la película 0,5mm y 10 metros de longitud.

Con estas dimensiones se obtiene 16m^3 de digestión, 4m^3 de almacenamiento de gas, lo que permite el tratamiento de 800 litros de la mezcla de excreta más agua de limpieza procedente de los 50 cerdos en ceba, además la producción diaria de 6m^3 de biogas y 700 litros de abono orgánico líquido.

La cantidad de biogás obtenida garantiza la elaboración de alimentos para la familia (6 miembros) más los empleados (2 ó 3). También se logró por varias semanas producir energía eléctrica con una planta facilitada de 1,5$kw.h^{-1}$ la cual suministraba corriente eléctrica durante los horarios en que esta faltaba del fluido eléctrico externo regular. Teniendo en cuenta los promedios obtenidos sobre el gasto de gas para cocinar en las familias cubanas con 3m^3 de gas por día, satisfacía esta demanda, contando con otros 3 m3 para producir electricidad.

El efluente del digestor se almacena en un colector de igual capacidad de almacenamiento que el digestor, garantizando así otros 20 días de tiempo de retención. De este colector se extrae el abono orgánico para los cultivos de la finca. La primera utilización se realizó abonando la mitad de un campo de maíz, calabaza y yuca, obteniéndose resultados muy evidentes en el mejoramiento de la capacidad productiva y fertilidad del terreno.

8. Fabricación de humus de lombriz

Luego del estudio y conocimiento de diferentes referencias sobre lombricultura, Ernesto llegó a la conclusión de proceder al cultivo de las lombrices y seleccionó un método acorde con sus condiciones y características. Después de obtener el pie de cría de lombrices roja californiana, se emprendió la labor.

Ante la escasez de área de tierra y la imposibilidad de utilizar la asignada para cultivos, decide utilizar las áreas laterales de las cercas vivas, que por su enraizamiento no son adecuadas para sembrar y además se ven favorecidas varias horas del día por sombra. Al mismo tiempo y para evitarse un segundo traslado de las excretas, procede a conformar los canteros con excreta fresca de la vaquería sin almacenarla en el estercolero. Los canteros se conforman desde el inicio con la altura máxima deseada, con el objetivo de permitir la mayor cantidad de almacenamiento posible y las lombrices son sembradas al principio del cantero esperando su movimiento horizontal.

Hasta el presente todo ha marchado muy bien y ya se han obtenido las primeras partidas del humus que van dejando las lombrices en su marcha horizontal. La lombriz está siendo utilizada no sólo como fertilizante para los cultivos (fundamentalmente hortalizas), sino también para la alimentación de pollos de engorde en su etapa inicial, con resultados muy positivos, pero aún muy preliminares. Esta es una actividad que tiene mucho potencial para el futuro desarrollo de la finca.

9. Distribución del trabajo en la finca

La incorporación de los diferentes componentes de la familia a las labores de la finca, contribuye a aportar otras fuentes de ingreso que incrementan los beneficios y crean en muchos casos valor agregado a los productos. El procesamiento de la yuca para la confección de croquetas o de puré de tomate para el consumo familiar o la comercialización, la cría de los cerdos y pollos necesarios para suplir las necesidades de carne del año, la producción de huevos, de leche fresca y de todo tipo de alimentos vegetales necesarios para la dieta familiar y de excedentes para la comercialización, son ejemplos de cómo lograr una coherencia entre la capacidad de sustento y el incremento de los ingresos y fuentes de creación de riquezas materiales a partir de la actividad agrícola.

Parte de la producción es utilizada para financiar muchas de las actividades e inversiones que realiza en la finca. Por ejemplo, los trabajadores se benefician con la producción y sirve como valor de cambio, además del consumo familiar.

La rutina diaria de trabajo (28 horas/hombre de trabajo) diaria en la finca es la siguiente:

5:00 - 6:30 a.m. Ordeño, limpieza de nave, etc.
7:00 - Distribución de animales al pastoreo
7:30 - 11:30 Labores agrícolas y distribución de los alimentos a los animales de corral
11:30 - 1:00 p.m. Almuerzo
1:00 - 3:00 Labores varias, agrícolas, movimiento de animales, distribución de forraje, etc.
3:00 - 4:30 Ordeño
4:30 - 7:00 Labores agrícolas y distribución de los alimentos a los animales de corral

10. Utilización de la maquinaria, implementos y equipos

En la medida que se ha ido aumentando la complejidad del sistema, ha sido necesario aplicar los conocimientos de mecánica y técnicos de Edel (hijo de Ernesto) y adquirir equipos e implementos que faciliten el trabajo y hagan más eficiente la mano de obra.

10.1. Herramientas, maquinarias e implementos principales

Herramientas: azadón, rastrillo, machete, pala, pico y ganchas.

Maquinarias e implementos: tractor, arado de discos, grada hidráulica, surcador, carretas (2) y pipa.

El mejoramiento en potencia de tracción, tamaño y posibilidades de trabajo del tractor que inicialmente tenían en la finca es un signo importante de progreso. Primeramente se buscó un tractor que utilizara como combustible el diesel en vez de la gasolina, más cara y difícil de obtener, además menos económica en su uso y el segundo paso fue cambiar este por otro diesel, pero de mayor potencia de trabajo.

FQ Gasolina ⟶ Ferguson Diesel ⟶ Fordson Major Diesel

"El cuidado asegura la durabilidad de los equipos y herramientas y su buen funcionamiento. Cuando se le pone el aceite y se le dan sus mantenimientos estoy asegurando un mejor uso y el beneficio que me reporta el mismo. Esto es desde un azadón hasta el tractor".

11. Análisis de eficiencia productiva y energética

Para hacer un análisis de la eficiencia productiva y energética, es necesario separar ambos sistemas productivos o estrategias implementadas en la finca y ponderar sus características y resultados propios.

El sistema de producción agroecológico logra niveles altos de rendimiento por ha de producto y en términos energéticos y proteicos, permite alimentar 30 personas a partir de las fuentes energéticas y 54 sobre la base de proteína total. El balance energético es positivo y se logra producir 3 calorías por cada caloría invertida.

El sistema convencional empleado, restringido a la ceba de cerdos y parte de la alimentación de conejos, se basa en alto uso de insumos externos, por lo que no obstante tener elevados niveles de producción energética y proteica y alimentar mayor número de personas.ha^{-1}, la eficiencia energética es baja, cuando para producir una caloría se necesitan cuatro, lo que comprueba la dependencia de estos insumos.

Ambos sistemas entran a jugar distintos papeles dentro del esquema de la finca, los que no son analizados desde el punto de vista socioeconómico en esta oportunidad, pero que es un importante motor impulsor del éxito. Cada uno no es excluyente del otro, sin embargo, el segundo tiene mayor riesgo y fragilidad debido a la alta dependencia de insumos externos.

Tabla 3

Resultados productivos y de eficiencia energética de la Finca

Indicadores	Sistema Agroecológico (1)		Sistema convencional Altos insumos (2)		Sistema 1 + 2	
Producción total (t)	30,5		14,5		45,0	
Rendimiento ($t.ha^{-1}$)	5,1		2,4 (3)		7,5 (4)	
Producción agrícola (t)	12,5		-		12,5	
Producción pecuaria (t)	18,1		14,5		32,6	
Producción energía ($Mcal.ha^{-1}$)	4829,0		5117,0		9946,0	
Producción proteína ($kg.ha^{-1}$)	214,0		367,0		580,0	
Personas que alimenta	Pers/ha/año	Total/año	Pers/ha/año	Total/año	Pers/ha/año	Total/año
Fuentes energéticas	5	30	5	30	10	60
Fuentes proteicas	9	54	14	84	23	138
Eficiencia energética (Balance) Cal producidas:Cal invertidas	3,01 (3:1)		0,25 (1:4)		0,46 (1:2)	

(1) Se produce a partir de los recursos de la finca y se contabilizan gastos e insumos energéticos como forrajes y mieles (otros forrajes obtenidos del entorno se contabilizan).
(2) Ceba intensiva de cerdos y conejos en base a piensos concentrados de granos y mieles.
(3) Se tiene en cuenta 6 ha, calculadas como necesarias para producir el concentrado utilizado, aunque no se puede contabilizar exactamente el área que respalda los concentrados importados por el sistema.
(4) Teniendo en cuenta la producción convencional como parte del sistema

12. Conclusión

La puesta en práctica de sistemas de producción a pequeña escala y el incremento de sus capacidades productivas, fundamentalmente a partir de la autosuficiencia alimentaria y la integración del componente animal con la actividad agrícola, encierra un gran potencial productivo con importantes reservas y posibilidades reales demostradas en este estudio de caso.

Agradecimientos

Este estudio de caso ha sido elaborado a partir de entrevistas realizadas a Ernesto González, propietario de una pequeña finca integrada, quien en 20 años de trabajo ha diseñado y manejado un sistema de producción exitoso, basado en el óptimo aprovechamiento de las potencialidades naturales, el respeto a la ecología y la utilización de las fuentes de recursos disponibles en su entorno.

Manipulando la bodiversidad vegetal para incrementar el control biológico de insectos plaga: un estudio de caso de un viñedo orgánico en el Norte de California

Clara I. Nicholls

1. Introducción

La expansión de los monocultivos en California ha resultado en la simplificación del paisaje. Un efecto de esta simplificación es la disminución en la abundancia y actividad de enemigos naturales de plagas agrícolas, debido a la destrucción de hábitats que proporcionan recursos alimenticios y sitios para invernar, indispensables para estos insectos benéficos (Corbett & Rosenheim, 1996). Muchos científicos están preocupados por la aceleración en las tasas de destrucción de hábitats que podría disminuir la capacidad de supresión de plagas mediante los agentes de control biológico en el futuro (Fry, 1995; Sotherton, 1984), conllevando a un excesivo uso de insecticidas, lo cual puede puede tener un efecto negativo sobre la sustentabilidad de los agroecosistemas.

Para detener o retroceder esta disminución de controladores naturales, muchos científicos han propuesto diferentes formas de incrementar la biodiversidad vegetal de los paisajes agrícolas, ya que es conocido que el control biológico de plagas agrícolas es mucho más efectivo en sistemas de cultivo diversificados que en monocultivos (Andow, 1991; Altieri, 1994). Uno de estos métodos de diversificación empleado en viñedos y huertos de frutales, es el de manejar la vegetación residente del suelo o plantar cultivos de cobertura; esta táctica ha sido diseñada para mantener hábitats para los enemigos naturales y así incrementar sus poblaciones. Reducciones en poblaciones de ácaros (Flaherty, 1969) y cicadélidos de la uva (Daane *et al.*, 1998) han sido observadas en huertos con cobertura. Sin embargo, esta supresión biológica no ha sido suficiente desde el punto de vista económico (Daane & Costello, 1998).

Es posible que en los estudios anteriormente citados, no se haya observado una adecuada supresión biológica de plagas debido a que no mantuvieron la biodiversidad vegetal por un período suficientemente largo durante la estación de crecimiento. Estos estu-

dios fueron llevados a cabo en viñedos con cultivos de cobertura de invierno y/o con la vegetación de malezas residentes, los cuales, al secarse a principios de la estación, o al ser cortadas o incorporadas temprano en la estación, dejan el sistema como monocultivos virtuales al inicio del verano. Basados en esta observación, se planteó como hipótesis que los enemigos naturales pueden requerir una cobertura verde que sirva de hábitat y alimento alternativo durante toda la estación de crecimiento. Una forma de lograr esta condición es mediante la siembra de cultivos de cobertura de verano que florezcan temprano en la estación y se mantengan durante todo el período de crecimiento del cultivo proporcionando, de esta manera, alimento abundante en forma constante, además de microhábitats para una comunidad diversa de enemigos naturales.

Otra opción es el mantenimiento o el establecimiento de vegetación adyacente a los campos de cultivo (Thomas *et al.*, 1991). Idealmente, estas áreas proveen alimento alternativo y refugio para predatores y parasitoides y por esto incrementan la abundancia y colonización de enemigos naturales a los cultivos vecinos (Altieri, 1994; Corbett & Plant, 1993). Investigaciones que tratan de entender la dinámica de dispersión y colonización de los enemigos naturales, han encontrado que los insectos entomófagos dependen de setos vivos, cortinas rompevientos, y bosques adyacentes a campos de cultivo para su continua existencia en áreas agrícolas (Fry, 1995; Wratten, 1988). Varios estudios indican que la abundancia y diversidad de insectos entomófagos dentro de los campos depende de la composición de las especies de plantas en la vegetación circundante, además de sus límites y arreglos espaciales, factores que afectan la distancia que pueden alcanzar los enemigos naturales cuando se dispersan en el cultivo (Lewis, 1965; Pollard, 1968).

Mucha investigación ha sido realizada en California con el fin de determinar el rol de la vegetación adyacente en las poblaciones del parasitoide *Anagrus epos* y el cicadélido de la uva *(Erythroneura elegantula).* Doutt & Nakata (1973) determinaron el rol de los hábitats riparios y de los parches de mora silvestre cerca a los viñedos, encontrando que estos incrementaban la efectividad de *A. epos* en parasitar el cicadélido de la uva. Mas tarde, investigaciones de Kido *et al.*, (1984) establecieron que los ciruelos (*Prunus domestica* L.) adyacentes a los viñedos podrían servir como sitios de refugio en el invierno para el parasitoide *A. epos,* y Murphy *et al.*, (1996) detectaron que el parasitismo de los huevos del cicadélido de la uva era mucho mayor en viñedos adyacentes a ciruelos que en viñedos sin estos refugios. Corbett & Rosenheim (1996), sin embargo, determinaron que el efecto de refugio de los ciruelos era limitado a unas pocas hileras de viñas y que *A. epos* exhibía una declinación gradual en los viñedos cuando se incrementaba la distancia desde el refugio. Estos resultados indican una importante limitación en el uso de los árboles de ciruelo para incrementar el control biológico en los viñedos.

Para encontrar vías más efectivas para proporcionar hábitat para los enemigos naturales y manejar las plagas agrícolas, puede ser útil considerar los conceptos de la ecología del paisaje. El estudio descrito en este capítulo explora la importancia en el cambio espacial de la estructura del paisaje de un viñedo, particularmente al establecer un corredor

vegetal que incremente el movimiento de benéficos mas allá del "área normal de influencia" a los hábitats adyacentes o refugios. Los corredores han sido usados por los biólogos conservacionistas para proteger la diversidad biológica, ya que estos proveen múltiples avenidas para la circulación y la dispersión de la biodiversidad a través del ambiente (Rosenberg *et al.*, 1997).

En el norte de California, muchos viñedos están insertados en una matriz de bosques riparios, de este modo proporcionan amplias oportunidades para el estudio de colonización de artrópodos y el intercambio de estos entre hábitats, especialmente aquellos entre campos agrícolas y áreas no cultivadas.

Este estudio se basa en la existencia de un corredor vegetal de 300m de largo compuesto de por lo menos de 65 especies de plantas en floración. Este corredor, conectado al bosque ripario, corta el monocultivo de viñas, permitiendo así evaluar si tal faja de vegetación puede incrementar el control biológico de insectos plaga en el viñedo. El principal interés era evaluar si el corredor actuaba como un hábitat que provee recursos alimenticios alternativos consistentes, abundantes y bien distribuidos para una comunidad diversa de predatores generalistas y parasitoides, permitiendo a las poblaciones de estos enemigos naturales desarrollarse en el área de influencia del corredor antes que las poblaciones de plagas en el viñedo. También se pensó que el corredor podría servir como una carretera biológica para la dispersión de predadores y parasitoides desde el bosque y hacia dentro del viñedo, y de este modo proporcionar protección contra los insectos plaga en algun área de influencia.

Como el cultivo fue también diversificado con cultivos de cobertura, se evaluó otra hipótesis: la presencia de insectos neutrales, polen y néctar en los cultivos de cobertura proveen un suministro de recursos alimenticios abundante para los enemigos naturales. Así los predadores y parasitoides rompen su dependencia estricta de herbívoros de la uva, lo que permite a los enemigos naturales elevar sus densidades y mantener las poblaciones de plaga a niveles aceptables. Se evaluó la hipótesis y se examinaron los mecanismos ecológicos asociados con la reducción de insectos plaga cuando los cultivos de cobertura fueron plantados a principios de la estación.

2. Sitio de estudio

Este estudio fue llevado a cabo en dos bloques adyacentes de viñedo Chardonnay, localizado en Hopland, 200 km al norte de San Francisco, California, en una región típica de producción de vino. Ambos bloques de viñedos estaban rodeados en la zona norte por bosque ripario, pero el bloque A estaba penetrado y cortado por un corredor de 5 metros de ancho y 300 metros de largo, compuesto por 65 especies diferentes de plantas en floración. Ambos bloques (bloque A y B, 2,5ha c/u) se encontraban bajo un manejo orgánico de abril a septiembre, en 1996 y 1997. Los cultivos de cobertura de invierno fue-

ron sembrados hilera por medio cada año, y las viñas recibían en promedio 2 toneladas de compost por hectárea y aplicaciones preventivas de azufre contra *Botrytis spp.* y *Oidium spp.*

3. Métodos

3.1. Corredor

Para determinar si el corredor influenciaba la diversidad y abundancia de insectos entomófagos en el viñedo adyacente, se colocaron trampas Malaise entre las rutas de vuelo de insectos, entre el bloque A y el corredor en el lado sur y el viñedo y el bosque ripario en el lado norte. Una trampa Malaise se colocó entre el bloque B del viñedo y la zona adyacente con suelo desnudo. Para maximizar las capturas de artrópodos voladores o transportados por el viento, en las interfaces del viñedo, las muestras fueron tomadas desde mayo a septiembre. Para monitorear la diversidad y abundancia de entomofauna se colocaron trampas pegajosas de color amarillo y trampas pegajosas de color azul en diferentes puntos en el viñedo, a diferentes distancias desde el corredor o la zona de suelo desnudo (hileras 1, 5, 15, 25, 45) en los bloques A y B respectivamente. Las trampas amarillas fueron usadas para monitorear el cicadélido de la uva *E. elegantula,* el parasitoide de huevos del cicadélido de la uva, *Anagrus epos,* y varias especies de predatores. Las trampas azules fueron principalmente usadas para determinar las poblaciones de trips y el predator *Orius.* Las trampas fueron orientadas perpendicularmente a la dirección del viento y colocadas sobre el follaje de la viña. Las trampas fueron colocadas en abril y reemplazadas semanalmente durante las estaciones de crecimiento en 1996 y 1997. Todas las trampas fueron llevadas al laboratorio para el conteo del número de insectos fitófagos y enemigos naturales asociados en las trampas.

En las mismas hileras donde eran colocadas las trampas pegajosas, se examinaban las hojas de la viña en el campo y se contaba el número de ninfas de *E. elegantula.*

3.2. Cultivos de cobertura

La mitad de cada bloque se mantuvo limpia de vegetación durante la primavera y finales del verano mediante el arado (viñedo en monocultivo). En abril, las otras dos mitades de cada bloque fueron sembradas hilera por medio con una mezcla de girasol (*Helianthus annus* Linnaeus) y trigo sarraceno (*Fagopirum esculentum* Moench) (viñedo con cultivo de cobertura). El trigo sarraceno florecía desde mayo a julio y el girasol desde julio hasta el final de la estación.

De abril a septiembre de 1996 y 1997, la abundancia y diversidad de los adultos del cicadélido de la uva, adultos y ninfas de trips, adultos de *Anagrus, Orius* sp. y otros predatores fueron monitoreados en los bloques de viñedo con cultivos de cobertura y los

viñedos en monocultivo, mediante trampas pegajosas amarillas y azules colocadas en 10 hileras seleccionadas al azar en cada bloque. También se determinó el numero de ninfas de *E. elegantula.* Este método de muestreo fue llevado a cabo en secciones con y sin cultivo de cobertura, permitiendo así determinar rápidamente y con seguridad la proporción de hojas infestadas, la densidad de ninfas, y las tasas de parasitismo de huevos del cicadélido de la uva por el parasitoide *Anagrus epos* (Flaherty *et al.*, 1992).

Se determinó el parasitismo de huevos *E. elegantula:* los huevos que no habían eclosionado, eran examinados para determinar la presencia del desarrollo de *A. epos* o *E. elegantula* (Settle & Wilson, 1990). Los huevos eclosionados fueron examinados para determinar la presencia o no de cicatrices de emergencia del huevo que indicaban la emergencia de *A. epos* (Murphy *et al.*, 1996).

Con el propósito de determinar si el corte del cultivo de cobertura forzaba el movimiento de los enemigos naturales desde el cultivo de cobertura a las viñas, se seleccionaron tres hileras diferentes en el bloque B las cuales fueron sujetas a un corte 3 veces cada año. En ambos años, trampas pegajosas amarillas y azules fueron colocadas en hileras al azar en sistemas con cultivo de cobertura cada vez que estas fueron cortadas, y en sistemas que no fueron sometidas al corte.

4. Resultados

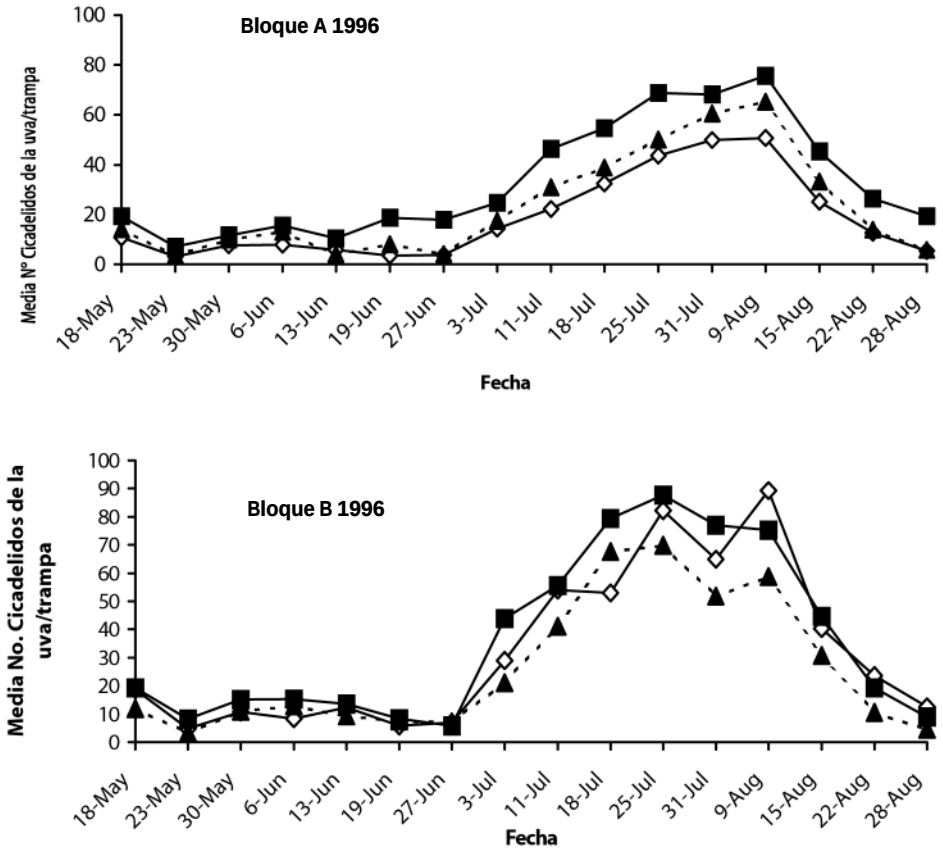
4.1. Influencia del corredor en las poblaciones del cicadélido de la uva y los trips

En el bloque A, los adultos del cicadélido de la uva exhibieron, en los dos años, un gradiente de densidad claro, alcanzando los más bajos niveles poblacionales en las hileras de viñas cerca al corredor y al bosque ripario e incrementando sus niveles hacia el centro del campo o alejado de la vegetación adyacente (Figura 1). En el bloque B, la ausencia del corredor resultó en una dispersión uniforme del cicadélido de la uva. Las poblaciones de ninfas se comportaron de forma similar, alcanzando sus niveles más altos en las hileras del centro en el bloque A en ambos años. Aparentemente, el área de influencia del corredor se extendió 15-20 hileras (25-30 metros), mientras que el área de influencia del bosque ripario sobre la población de ninfas del cicadélido de la uva alcanzo 10-15 hileras (20-25 metros). En el bloque B, las ninfas presentaron una distribución homogénea a lo largo de todo el bloque.

Un gradiente poblacional parecido se observó en la distribución de trips. En ambos años las capturas en el bloque A fueron substancialmente más altas en las hileras centrales que en las hileras adyacentes al bosque; las capturas fueron particularmente menores en las hileras cerca del corredor. En el bloque B, no se presentaron diferencias en las capturas entre las hileras centrales y las hileras cercanas al área de suelo desnudo, sin embargo las capturas cerca del bosque ripario fueron menores, especialmente durante 1997.

Figura 1

Patrones estacionales (promedios/trampa) de adultos del cicadélido de la uva *E.elegantula* en ambos bloques del viñedo,influenciado por la presencia del bosque ripario y el corredor (Hopland,California,1996).Referencias: corredor bosque centro



4.2. Respuesta de los enemigos naturales

La abundancia y distribución espacial de los predatores generalistas de las familias Coccinellidae, Chrysopidae, Nabidae, y Syrphidae en el bloque A estuvo influenciada por la presencia del bosque ripario y del corredor, el cual canalizó la dispersión de insectos benéficos dentro de las viñas (Figura 2). Los predatores estuvieron más homogéneamente distribuidos en el bloque B donde no se presentaron diferencias en las capturas espaciales de los predatores entre el área de suelo desnudo y las hileras del centro. Sin embargo, se pudo observar que su abundancia tendía a ser mayor en las hileras cerca al bosque ripario.

La distribución de *Orius sp.* estuvo afectada por el corredor y el bosque ripario. Así, mientras en el bloque A, las poblaciones más altas de *Orius* se presentaron en las viñas cercanas a los bordes (hasta 20 metros), en el bloque B no se presento un gradiente poblacional aparente (Tabla 1).

Tabla 1

Densidad media (± ES) de *Orius* sp. (No./trampa pegajosa azul)* observado en las hileras del borde y centro de ambos bloques del viñedo en Hopland, California (1996)

	Junio		Julio		Agosto	
	A	B	A	B	A	B
Cerca del corredor/ borde limpio	1,33± 0,08	1,20 ± 0,3	3,75± 0,94	2,54± 0,84	1,53± 0,51	1,85 ± 0,56
Centro del campo	1,16 ± 0,05	1,36± 0,45	2,11 ± 0,52	2,96 ± 0,98	1,20 ± 0,4	1,70 ± 0,62
Cerca del bosque	1,90 ± 0,47	1,40± 0,46	4,52 ± 1,5	3,01 ± 0,75	1,42 ± 0,38	2,03 ± 0,84

*promedio de 4 fechas de muestreo

El parasitoide *Anagrus* colonizó los viñedos desde el corredor y el bosque ripario hacia el área de muestreo, presentando las densidades más altas desde finales de julio a finales de agosto en los dos años de estudio en las hileras del centro, donde las poblaciones del cicadélido de la uva eran más abundantes (Figura 3). El incremento en las capturas de *A. epos* especialmente desde finales de junio en adelante, indica que el parasitoide empezó a moverse en el viñedo a principios de junio, semanas después que los adultos de *E. elegantula* colonizaron los viñedos. La aparición de *A. epos* coincidió con el inicio del período de oviposición de los adultos del cicadélido de la uva.

Se observaron altos niveles de parasitismo a través de las generaciones del cicadélido de la uva en los dos bloques en los 2 años (Tabla 2). Los huevos presentes en las hileras del centro alcanzaron una tasa de parasitismo ligeramente más alta que los huevos localizados en las hileras cercanas al bosque o el corredor. La proporción de huevos parasitados tendió a ser uniformemente distribuida entre las hileras de ambos bloques. Se asume que la presencia del bosque ripario está asociada con la colonización de *A. epos,* pero éste no resulta en una prevalencia en el parasitismo de huevos de *E. elegantula* a lo largo de la estación en hileras adyacentes a tales hábitats.

4.3. Respuesta de la densidad del cicadélido de la uva a los cultivos de cobertura de verano

En ambos años, las densidades del cicadélido de la uva fueron menores en las viñas con cultivo de cobertura de verano que en las viñas en monocultivo (Figura 4).

Figura 2

Patrones estacionales de las capturas de predatores (promedio / trampa) en los bloques del viñedo,influenciado por la proximidad al bosque ripario y al corredor (Hopland, California, 1996). Referencias: corredor bosque centro

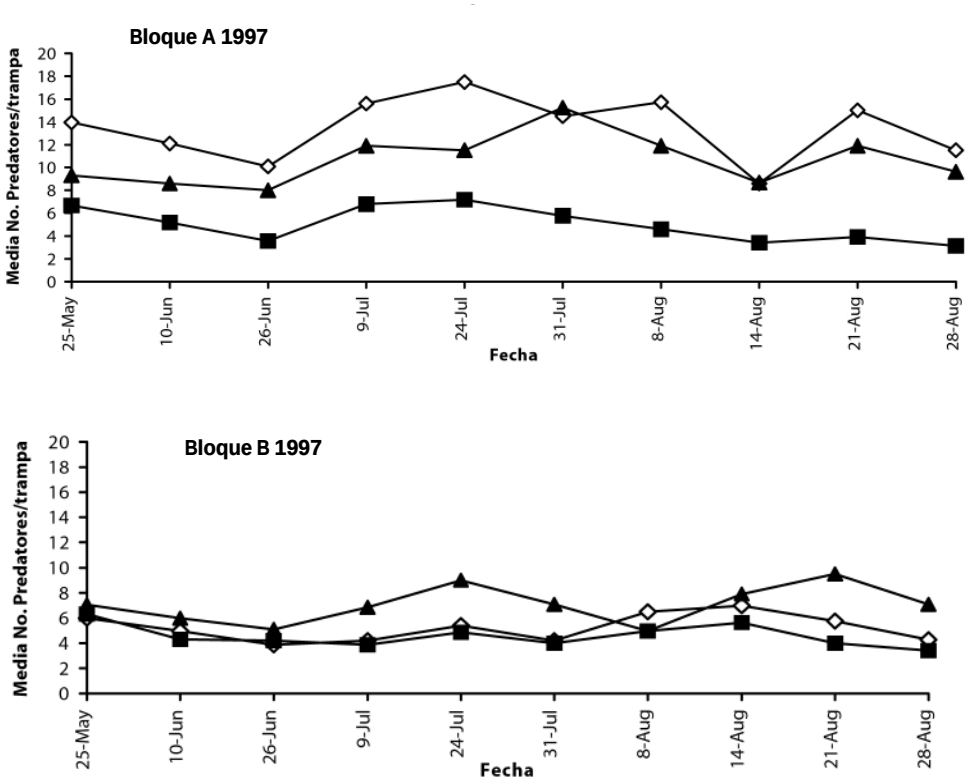


Tabla 2

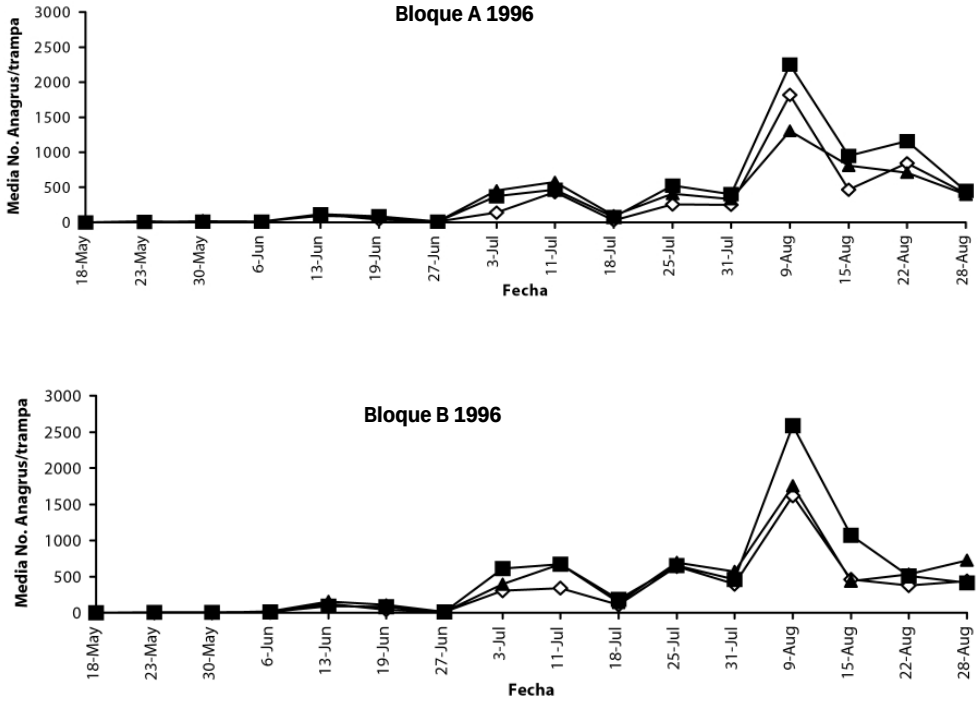
Porcentaje de parasitismo de huevos (media ± ES) del cicadélido de la uva* por *Anagrus epos* en hileras del borde y el centro de los bloques de viñedo en Hopland, California.

	Bloque A		Bloque B	
	1996	1997	1996	1997
Cerca del corredor/ borde limpio	46 ± 16	59 ± 14	62 ± 21	73 ± 45
Centro del campo	61± 23	82 ± 33	75 ± 32	80 ± 37
Cerca del bosque	57 ± 31	77 ± 27	74 ± 43	75 ± 29

*promedio de 12 fechas de muestreo durante la estación

Figura 3

Patrones estacionales de las capturas de *Anagrus* (promedio de adulto / trampa) en los bloques del viñedo influenciado por la proximidad del bosque ripario y el corredor (Hopland, California, 1996). Referencias: corredor bosque centro



Comparando los viñedos con cultivos de cobertura con aquellos en monocultivo se observó que el incremento en la diversidad de plantas también resulta en una disminución del número de ninfas del cicadélido de la uva. Las densidades de ninfas fueron generalmente menores en secciones de las viñas con cultivos de cobertura en 1996, pero esto fue más evidente en 1997 (Figura 5).

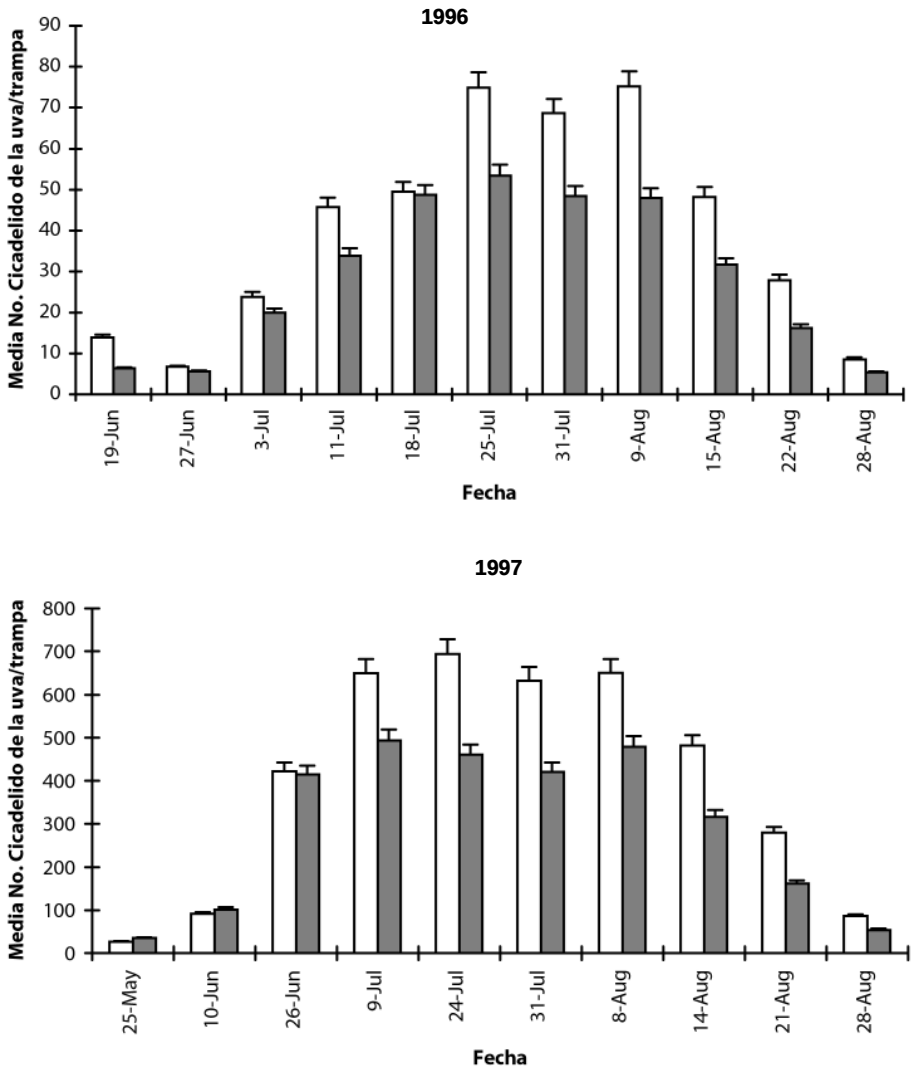
4.4. Efectos de los cultivos de cobertura en las poblaciones de *Anagrus* y en las tasas de parasitismo

Durante 1996, las densidades medias de *Anagrus* en las secciones con cultivo de cobertura y en secciones en monocultivo fueron similares, aunque al final de la estación *Anagrus* logró alcanzar niveles significativos en las secciones en monocultivo (figura 6). De igual forma, durante 1997, un año de capturas elevadas, el número de *Anagrus* fue significativamente mayor en las secciones de monocultivo especialmente a finales de

julio. Claramente, *A. epos* fue más abundante en el viñedo en monocultivo asociado con las altas densidades del cicadélido hospedero.

Figura 4

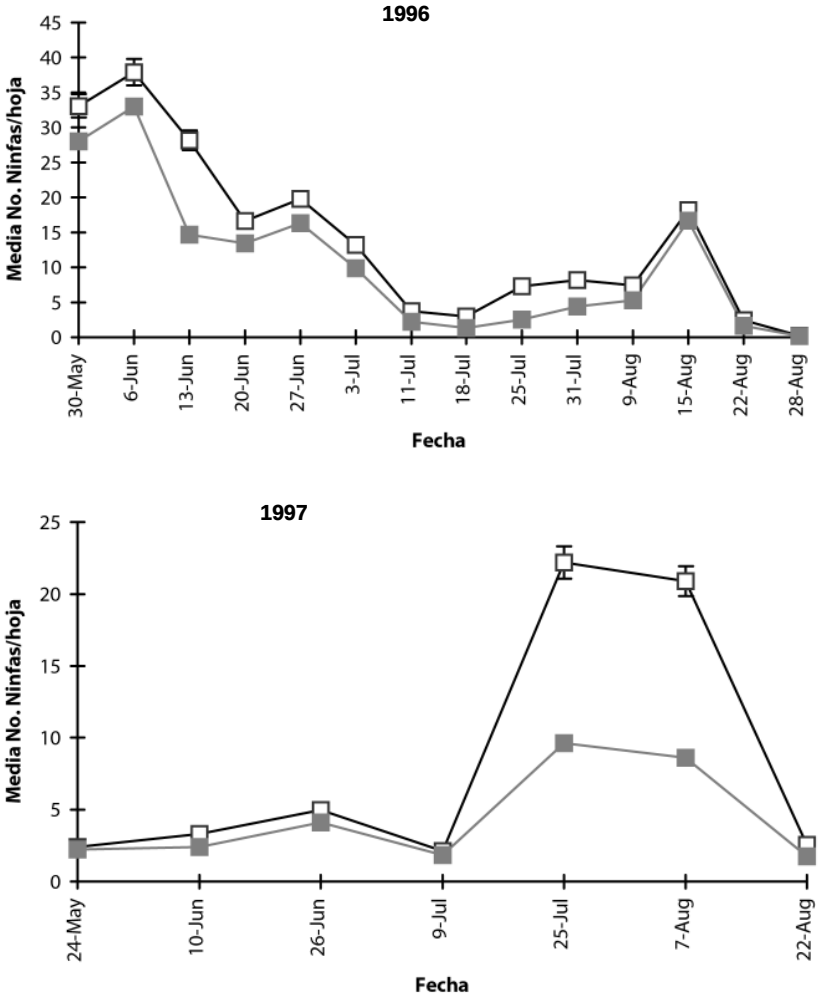
Densidades de adultos del cicadélido de la uva *E. elegantula* en sistemas con cultivos de cobertura y en sistemas en monocultivo en el viñedo en Hopland, California, durante 2 estaciones de crecimiento. Densidad promedio (numero de adultos / trampa) y error estándar. Barras claras: sin cobertura, barras oscuras: con cobertura.



Las diferencias en las capturas de *Anagrus* en secciones con cultivos de cobertura y secciones en monocultivo no se reflejaron en las tasas de parasitismo de *E. elegantula*.

Figura 5

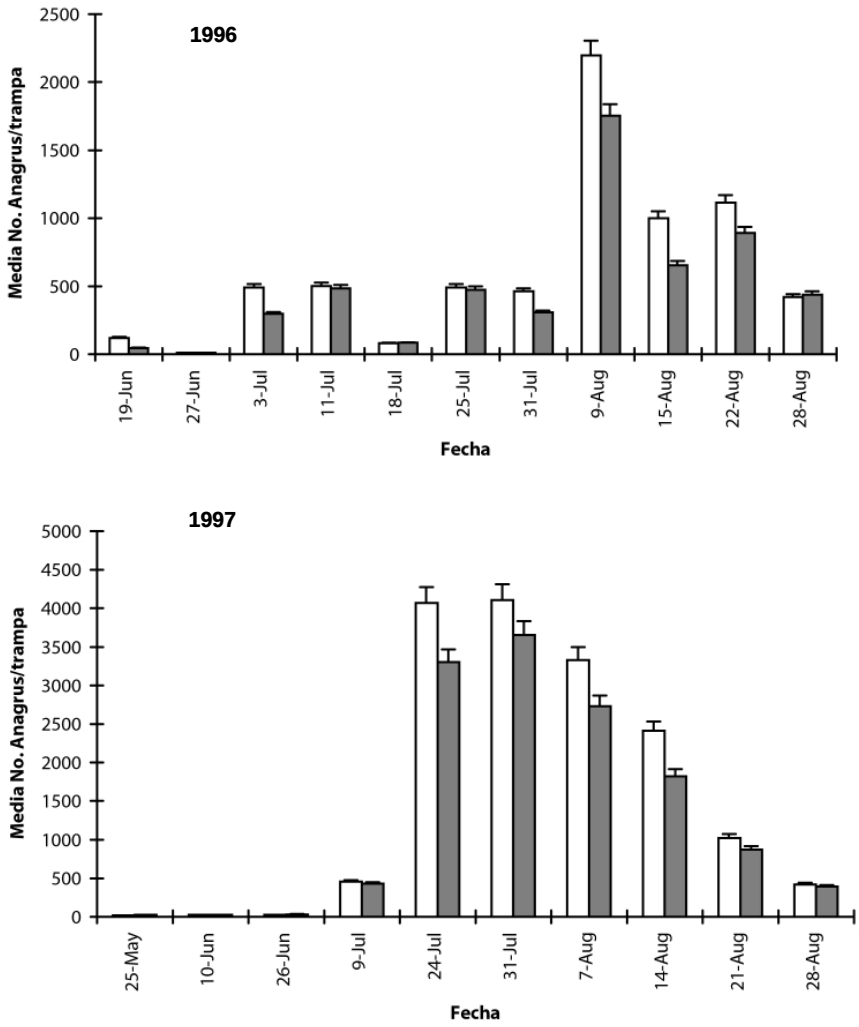
Densidades de ninfas de *E. elegantula* en sistemas con cultivo de cobertura y en sistemas en monocultivo en el viñedo durante dos estaciones de crecimiento en Hopland, California. Símbolos claros: sin cobertura, símbolos oscuros: con cobertura.



Tampoco hubo una relación entre la abundancia del cicadélido de la uva y los niveles medidos de parasitismo observados en este estudio. No se presentaron diferencias estadísticas en las tasas de parasitismo entre los tratamientos en los dos años del estudio, aunque en julio de los dos años las tasas de parasitismos fueron ligeramente más altas en las secciones con cultivos de cobertura, pero no lo suficientemente significativas (Tabla 3).

Figura 6

Número promedio de *Anagrus epos* por trampa amarilla en sistemas con cultivo de cobertura y en sistemas en monocultivo en el viñedo durante dos estaciones de crecimiento en Hopland, California. Barras claras: sin cobertura, barras oscuras: con cobertura



4.5. Efectos de los cultivos de cobertura en las poblaciones de trips y predatores generalistas

Las densidades de trips en 1996 fueron menores en las secciones del viñedo con cultivos de cobertura que en secciones en monocultivo. Las densidades de trips permane-

Tabla 3

Porcentaje de parasitismo de huevos del cicadélido de la uva por *Anagrus* epos durante 2 estaciones de crecimiento, en viñedos con y sin cultivos de cobertura (Hopland, California).

		Con cultivos de cobertura	Sin cultivos de cobertura
1996	Junio	48 a	49 a
	Julio	62 a	59 a
	Agosto	67 a	66 a
1997	Junio	52 a	54 a
	Julio	64 a	55 b
	Agosto	69 a	68 a

* valores en la misma hilera seguido por la misma letra significa que no son estadísticamente significativos (p<0,05,"t"test)

cieron bajas durante toda la estación de crecimiento (Figura 7). Tales diferencias fueron también aparentes en 1997, un año con alta presión poblacional de trips. Las poblaciones en 1997 fueron significativamente mayores en las secciones de monocultivo especialmente al final de julio. El incremento en la diversidad de plantas estuvo asociado con las menores poblaciones de trips

La Tabla 4 presenta la densidad poblacional de predatores en las secciones con cultivos de cobertura así como en las secciones en monocultivo. Los predatores estaban compuestos por arañas, *Nabis* sp., *Orius* sp., *Geocoris* sp., *Coccinellidae,* y *Chrysoperla* sp. Generalmente, las poblaciones fueron menores al comienzo de la estación y se incrementaron cuando las presas empezaron a incrementarse durante la estación. La tabla 4 muestra que durante 1996, las poblaciones de los predatores generalistas en las viñas tendían a ser más altas en las secciones con cultivos de cobertura que en las secciones en monocultivo.

Tabla 4

Densidades medias mensuales* (± SE) de diferentes especies de artrópodos predatores en viñas con y sin cultivos de cobertura, Hopland, California. 1996)

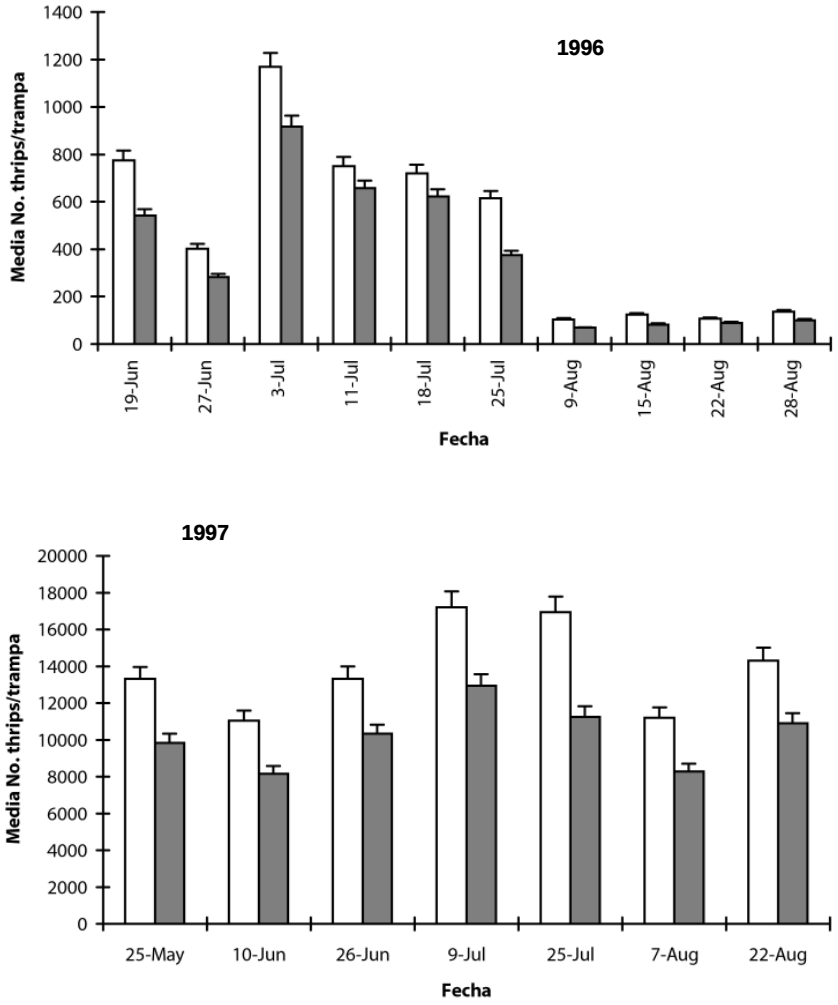
		Orius	Arañas	Coccinellidae	*Geocoris* sp.	*Nabis* sp.	*Chrysoperla* sp.
Con cultivos de cobertura	Junio	3 ± 0,7	3 ± 1,3	0	0	1 ± 0,3	3 ± 2,2
	Julio	5 ± 1,9	9 ± 3,4	4 ± 1,9	2 ± 1,7	1 ± 0,6	5 ± 3,1
	Agosto	4 ± 2,0	12 ± 3,7	1 ± 0,8	4 ± 2,3	2 ± 1,1	2 ± 1,0
Sin cultivos de cobertura	Junio	2 ±1,3	2 ± 1,1	2 ± 0,7	0	0	2 ± 0,7
	Julio	3 ± 0,9	8 ± 2,6	2 ± 0,4	1 ± 0,5	0	4 ± 1,5
	Agosto	2 ± 0,8	9 ± 3,4	1 ± 0,3	2 ± 0,9	1 ± 0,7	2 ± 0,8

* Número de individuos por transecto de 25m muestreado con D-Vac

En 1996 el predator más abundante en las flores de trigo sarraceno y girasol fue *Orius,* seguido por varias especies de Coccinellidae. Entre las diferentes especies de arañas

Figura 7

Densidad promedio de thrips por trampa azul en sistemas con cultivos de cobertura y en sistemas en monocultivo en el viñedo durante dos estaciones de crecimiento en Hopland, California. Barras claras: sin cobertura, barras oscuras: con cobertura.



encontradas, los miembros de la familia Thomisidae fueron los más abundantes (Tabla 5). En 1997, *Orius* fue de nuevo el predator más abundante en las secciones con cultivo de cobertura, seguido por varias especies de arañas Thomisidae y algunas especies de Coccinellidae, Nabidae, y *Geocoris* sp. Muchos de estos predatores probablemente respondieron al complejo de insectos neutrales y al polen y néctar presente en el cultivo de cobertura.

Tabla 5

Proporciones de grupos de predatores albergados por los cultivos de cobertura de verano (1996-1997) en ambos bloques del viñedo en Hopland, California.

	Orius		Coccinellidae		Arañas		Otros*	
	Bloque A	Bloque B	Bloque A	Bloque B	Bloque A	Bloque B	Bloque A	Bloque B
1996	76**	68	15	24	-	-	9	8
1997	83	72	-	-	12	17	5	11

* Otros incluyen: *Nabis* sp., *Geocoris* sp., *Chrysoperla* sp. y varias especies de arañas.
** % de insectos capturados con red entomológica, promedio de 12 fechas de muestreo durante la estación.

4.6. Efectos del corte de los cultivos de cobertura en la población del cicadélido de la uva y *A. epos*

Para determinar si el corte influenciaba la abundancia del cicadélido de la uva, las densidades de este fueron determinadas en viñas seleccionadas antes y después del corte, comparando los niveles poblacionales en los sistemas con cultivos de cobertura y en los que ésta fue cortada.

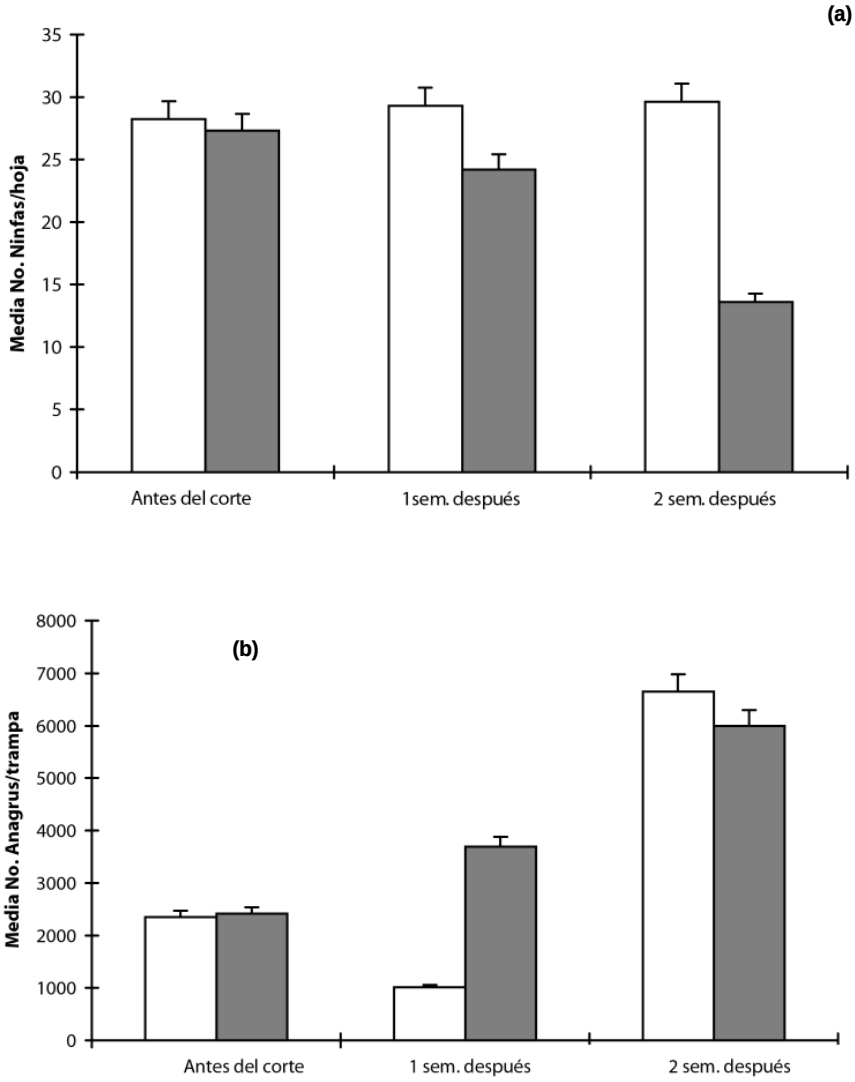
Antes del corte, las densidades de las ninfas del cicadélido de la uva en las viñas fueron similares en las hileras con cultivos de cobertura. Una semana después del corte, el número de ninfas disminuyó en las viñas donde el cultivo de cobertura fue cortado, coincidiendo con un incremento en las densidades del parasitoide *Anagrus*. Durante la segunda semana, esta disminución fue más pronunciada, aunque las diferencias en la población de *Anagrus* entre los sistemas en los que el cultivo de cobertura se cortó y en los que no, no fueron significativas (Figura 8).

5. Conclusiones

Esta investigación demuestra que los cultivos de cobertura mantienen un gran número de *Orius,* coccinélidos, arañas especialmente de la familia Thomisidae y otras especies de predatores. Comparaciones de la abundancia de predatores en los sistemas con y sin cultivos de cobertura muestran que la presencia de trigo sarraceno y girasol produce un incremento en la densidad de predatores. Este resultado es consistente con las observaciones reportadas por Daane & Costello (1998), quienes encontraron que los cultivos de cobertura influenciaban la abundancia relativa de arañas presentes en los viñedos. La pregunta es si tales incrementos en la abundancia de predatores (especialmente dado que *Anagrus* actúa de manera similar en los dos sistemas) explican las bajas

Figura 8

Efectos del corte del cultivo de cobertura en el viñedo en (a) las ninfas del cicadélido de la uva y (b) *Anagrus epos* durante 1997 en Hopland, California. Barras claras: sin cobertura, barras oscuras: con cobertura



poblaciones del cicadélido de la uva y de trips observados en los viñedos diversificados. Algunos investigadores (Hanna *et al.*, 1996) creen que las reducciones del cicadélido de la uva pueden ser atribuidas, en parte, al incremento en la actividad de cierto grupo de

arañas, las cuales son consistentemente encontradas en altas densidades en sistemas con cultivos de cobertura que en sistemas limpios de monocultivo. Este estudio revela que la alta densidad de predatores está correlacionada con la baja población de cicadélidos de la uva y esta relación es más clara en el caso de la interacción *Orius*-trips.

Los experimentos del corte de la cobertura sugieren una conexión ecológica directa, puesto que el corte del cultivo de cobertura forzó el movimiento de *Anagrus* y de predatores que se encontraban en las flores, resultando así en una disminución de la población del cicadélido de la uva en las viñas adyacentes a los sistemas donde el cultivo de cobertura fue cortado. Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Sluss (1967), quien recomendaba el corte del cultivo de cobertura en huertos de nogales a finales de abril o principios de mayo para forzar el movimiento de *Hippodamia convergens* hacia los árboles para ejercer un control temprano del áfido de los nogales. Claramente, se requieren más investigaciones para determinar el momento más propicio para hacer el corte con relación a la biología del cicadélido de la uva y la fenología de la viña y los cultivos de cobertura.

Esta investigación también sugiere que la dispersión y las subsecuentes densidades de los herbívoros y los enemigos naturales asociados, están influenciadas por las características del paisaje tales como el bosque ripario y el corredor adyacente al viñedo. La presencia de los hábitats riparios incrementa la colonización de predatores y su abundancia en los viñedos adyacentes, sin embargo esta influencia es limitada por la distancia en la cual los enemigos naturales pueden dispersarse dentro del viñedo (Corbett & Plant, 1993). El corredor, sin embargo, amplifica esta influencia permitiendo incrementar la dispersión y circulación de predatores al centro del campo. La gran disponibilidad de polen y néctar proporcionada por varias flores en el corredor, así como la diversidad y prevalencia de insectos neutrales, atrae un gran número de predatores generalistas. El incremento de la abundancia de alimento alternativo ha sido asociado con un incremento en la abundancia de predatores al afectar su reproducción y/o supervivencia (Lys *et al.*, 1994). Es así como se promueve un mayor impacto de los predatores, especialmente en las hileras del cultivo cerca a los hábitats que proveen este alimento alternativo (Coombes & Sotherton, 1986).

Muchas de las especies de predatores presentes en el corredor provienen del bosque ripario. Para algunos predatores tales como Coccinellidae, Chrysopidae, y Syrphidae, el corredor influenció su abundancia y dispersión a finales de la primavera y a principios del verano, el efecto actúa por medio de presas alternativas como áfidos y otros Homóptera (para Coccinellidae y Chrysopidae) y néctar y polen (para Syrphidae). Algunas especies de plantas albergan poblaciones de insectos neutrales de los ordenes Homóptera y Hemíptera, los cuales actúan como importante reservorio alimenticio para predatores tales como Anthocoridae y Miridae que migran desde el bosque y que se mueven mas tarde al viñedo.

Actuando diferente a los predatores, el parasitoide *A. epos* no fue afectado directamente por la diversidad vegetal. Sin embargo, se ha observado que *Anagrus epos* coloniza las viñas desde los bordes del viñedo (Corbett & Rosenheim, 1996). En este estudio el parasitoide siguió los patrones de abundancia del cicadélido de la uva y no mostró una

respuesta de distribución tal y como se observó con los predatores. Otros investigadores que han encontrado un efecto positivo de las flores en la diversidad y abundancia de parasitoides han reportado también la dificultad de mostrar un gradiente evidente de parasitoides desde un hábitat en floración hacia sistemas de cultivo (Duelli *et al.*, 1990). Dado que *A. epos* se dispersó similarmente en las hileras en los dos bloques en estudio, es aparente que el incremento de predatores cerca a las interfaces con vegetación puede explicar mejor las bajas poblaciones del cicadélido de la uva y de los trips en las hileras del borde del bloque A. Este impacto exitoso de los predatores puede ser asumido porque pocos adultos y ninfas del cicadélido de la uva y trips fueron capturados cerca del corredor que en el centro del viñedo.

Los datos obtenidos en este estudio conllevan a 2 conclusiones principales:

• La diversificación del hábitat usando cultivos de cobertura de verano alberga altas poblaciones de predatores durante toda la estación, favoreciendo así un incremento en el control biológico del cicadélido de la uva y de trips en los viñedos.

• La creación de corredores dentro de los viñedos puede servir como una estrategia clave que permite a los enemigos naturales emerger desde los bosques riparios y dispersarse sobre grandes áreas que serían de otra forma monocultivos. Tales corredores podrían estar compuestos de especies de plantas localmente adaptadas, que exhiban períodos secuenciales de floración, los cuales atraen y albergan una abundante diversidad de predatores y parasitoides. Estos corredores o fajas, los cuales pueden estar conectados con varios sistemas de cultivo o bosques riparios, pueden crear una red de hábitats que permitan la dispersión de muchas especies de insectos benéficos a través de un gran rango de regiones agrícolas, trascendiendo las barreras de las fincas (Baudry, 1984).

Nuestro estudio sugiere que es posible restaurar los controladores naturales en los agroecosistemas a través de la diversificación vegetal, la cual provee una fundación ecológica robusta para el diseño de viñedos sustentables en el Norte de California, y en cualquier área del mundo mediterráneo.

Altieri MA (1994) Biodiversity and pest management in agroecosystems. Haworth Press, New York.

Andow DA (1991) Vegetational diversity and arthropod population response. Annual Review of Entomology 36: 561-586.

Baudry J (1984) Effects of landscape structure on biological communities: the cases of hedgerows network landscapes. In: Methodology in Landscape Ecological Research and Planning. Brandt J & P Agger (Eds). Roskilde University Center. Denmark. 1: 55-65.

Corbett A & RE Plant (1993) Role of movement in the response of natural enemies to agroecosystem diversification: a theoretical evaluation. Environmental Entomology 22: 519-531.

Corbett A & JA Rosenheim (1996) Impact of natural enemy overwintering refuge and its interaction with the surrounding landscape. Ecological Entomology 21: 155-164.

Coombes DS & NW Sotherton (1986) The dispersal and distribution of polyphagous predatory Coleoptera in cereals. Annals of Applied Biology, 108: 461-474.

Daane KM & MJ Costello (1998) Can cover crops reduce leafhopper abundance in vineyards? California Agriculture 52 (5): 27-32.

Daane KM, MJ Costello, GY Yokota & WJ Bentley (1998) Can we manipulate leafhopper densities with management practices? Grape Grower 30 (4): 18-36.

Doutt R & J Nakata (1973) The Rubus leafhopper and its egg parasitoid: an endemic biotic system useful in grape-pest management. Environmental Entomology 2: 381-386.

Duelli P, M Studer, I Marchand & S Jakob (1990) Population movements of arthropods between natural and cultivated areas. Biol. Conserv. 54: 193-207.

Flaherty DL (1969) Ecosystem trophic complexity and the *Willamette mite, Eotetranychus willamettei* (Acarine; Tetranychidae) densities. Ecology 50: 911-916.

Flaherty DL, PT Christensen, T Lanini, J Marois & LT Wilson (1992) Grape pest management. University of California Division of Agriculture and Natural Resources.

Fry G (1995) Landscape ecology of insect movement in arable ecosystems. In: Ecology and Integrated Farming Systems. Glen DM; MP Greaves & HM Anderson (Eds). John Wiley & Sons, Bristol, UK. pp. 177-202.

Hanna R, FG Zalom & CL Elmore (1996) Integrating cover crops into vineyards. Grape Grower, February. pp. 26-43.

Kido H, DL Flaherty, DF Bosch & KA Vaero (1984) French prune trees as overwintering sites for the grape leafhopper egg parasite. Am. J. Enol. Vitic. 35: 156-160.

Lewis T (1965) The effects of shelter on the distribution of insect pests. Scientific Horticulture 17: 74-84.

Lys JA, M Zimmermann & W Nentwing (1994) Increase in activity density and species number of carabid beetles in cereals as a result of strip-management. Entomol. Exp. Appl. 73: 1-9.

Murphy BC, JA Rosenheim & J Granett (1996) Habitat diversification for improving biological control: Abundance of *Anagrus epos* (Hymenoptera: Mymaridae) in grape vineyards. Environ. Entomol. 25 (2): 495-504.

Pollard E (1968) Hedges IV. A comparison between the carabidae of a hedge and field site and those of a woodland glade. Journal of Applied Ecology 5: 649-657.

Rosenberg DK, BR Noon & EC Meslow (1997) Biological corridors: form, function and efficacy. BioScience 47 (10): 677-687.

Settle WH & T Wilson (1990) Invasion by the variegated leafhopper and biotic interactions: parasitism, competition, and apparent competition. Ecology 71: 1461-1470.

Sluss RR (1967) Population dynamics of the walnut aphid *Chromaphis juglandicola* (Kalt) in northern California. Ecology 48: 41-58.

Sotherton NW (1984) The distribution and abundance of predatory arthropods overwintering on farmland. Annual of Applied Biology 105: 423-429.

Thomas MB, SD Wratten & NW Sotherton (1991) Creation of "islands" habitats in farmland to manipulate populations of biological arthropods: predator densities and emigration. J. Appl. Ecol. 28: 906-917.

Wratten SD (1988) The role of field margins as reservoirs of natural enemies. In: Environmental Management in Agriculture. Burn AJ (Ed.) Belhaven Press, London.

Producción de caña de azúcar orgánica: El caso de la cooperativa la Unión de San Juan de la Sierra, Misiones, Argentina

Granitto Georgina María y S. J. Sarandón

1. Características de la zona

La zona productora se encuentra en la Provincia de Misiones, Argentina, en la confluencia de tres municipios: Santa María, Arroyo del Medio y San José. Es una zona de serranías, de vegetación muy abundante correspondientes a selva subtropical (a la que los pobladores denominan "Monte"), alternando con sectores de capuera (terrenos que han sido desmalezados, a machete o con fuego, y donde se desarrolla nuevamente la vegetación, compuesta de gramíneas y pequeños arbustos).

El clima es templado-cálido húmedo. Las precipitaciones oscilan alrededor de los 1450mm al año. Los suelos son lateríticos, ácidos y muy fértiles. El terreno se presenta con relieves muy pronunciados y sumamente pedregoso.

2. Características de los pobladores

Son colonos descendientes de familias provenientes de Brasil que se asentaron allí hace unos 50-70 años; casi todos hablan un "portuñol" muy característico. La mayoría de ellos son semi-analfabetos y muchos de ellos practican la religión evangélica-adventista. Las viviendas son, en general de paredes de madera, sin piso y con techo de chapa, sólo las casas de algunos productores poseen piso y paredes de material.

La mayoría de ellos se trasladan a pie, a caballo, o en los carros tirados por bueyes. Sólo existen 5 productores con vehículo propio (camioneta). No poseen agua corriente, ni gas, ni cloacas y sólo algunos tienen electricidad. Poseen una unidad sanitaria, anexa a la escuela, adonde una vez por semana acude un médico y una enfermera.

En la escuela sólo se dicta 1º y 2º ciclo de la Enseñanza General Básica EGB (1º a 6º grado). Las escuelas secundarias se hallan alejadas entre 30 y 50 km, y al no poseer movilidad, se les hace imposible enviar a sus hijos.

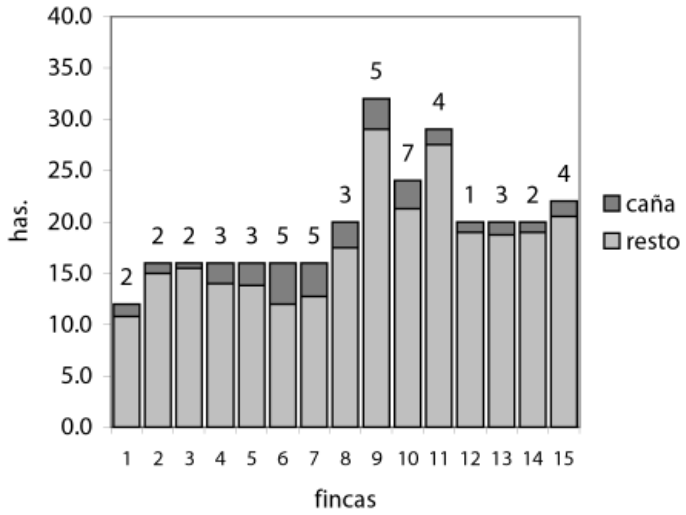
Estos productores han desarrollado una estrategia de auto suficiencia basada en la producción de cultivos anuales y cría de aves o cerdos para consumo familiar. Sus fincas poseen una superficie aproximada promedio de 20has, de las cuales, sólo una pequeña parte (unas 2 has en promedio) es destinada al cultivo de caña de azúcar (Figura 1).

En un principio se dedicaron a la elaboración de rapadura a la que se le agregaba batata o maní, se envolvía en chala (hojas de la mazorca del maíz) y se vendía. Con el desarrollo de nuevas golosinas, elaboradas en forma industrial y más económica, como los alfajores, la rapadura fue perdiendo mercado paulatinamente. Así decidieron dedicarse a la elaboración del azúcar rubia, que tiene más posibilidades de ser vendida.

Se agruparon para ello en la Cooperativa la Unión de San Juan de la Sierra. A partir de allí la comunicación se hizo mucho más fluida entre ellos y se han afianzado valores como la solidaridad y la esperanza del progreso comunitario. Además afirman que, si no fuera por la venta del azúcar, su situación sería aún peor, ya que es la única actividad productiva en su zona que actualmente posee rentabilidad.

Figura 1

Superficie de las fincas en la cooperativa de San Juan de la Sierra, Misiones, y proporción de la misma ocupada con caña de azúcar. Los números encima de las columnas indican el número de parcelas de caña que cada finca cultiva.



3. Tecnología empleada

En general disponen de herramientas bastante rudimentarias, como azada, machete, foiza (hoz) motosierra para desmonte y horqueta para sacar la chala del entresurco. Además usan el arado tatú, fabricado por ellos mismos y arrastrado por bueyes, y el rastrillo-azada de madera para retirar malezas, también de elaboración propia. Para los cul-

tivos anuales se utilizan sembradoras manuales.

Sólo un productor posee tractor, el resto utiliza los bueyes que, debido al relieve escarpado del terreno y a su pedregosidad, resultan ideales para realizar tareas agrícolas. Además, el buey es un elemento imprescindible ya que se usa, no sólo como instrumento de labranza, sino también para accionar el trapiche (máquina para moler la caña) y para trasladar el azúcar elaborada hasta la sede de la cooperativa.

La mayoría de los productores posee trapiche de madera propio movido por bueyes, sólo 2 productores poseen trapiche a motor. Algunos socios que no poseen trapiche propio, usan el de otros productores. Sólo 5 productores poseen camionetas, el resto se traslada a pie, con carro tirado por bueyes o a caballo, los que lo poseen.

Los galpones que poseen son de madera con techo de chapa o bagazo de caña y sin paredes laterales. En esos galpones se ubica el trapiche, las bateas donde se elabora el azúcar y las herramientas que utilizan.

La mano de obra es totalmente familiar, y en algunos casos, si posee una gran superficie plantada y se trata de un hombre de edad, otros socios trabajan para él como jornaleros.

3.1. Manejo del suelo

El suelo es arcilloso, rico en arcillas montmorilloníticas. En estas sierras no está tan acentuado el color rojizo como en las zonas aledañas. Existe una importante pedregosidad en el terreno. En general se trata de suelos muy fértiles que lo se evidencia en la cantidad y variedad de especies que abundan en esta zona, aunque no es homogéneo. Los colonos manifiestan que existen sectores con mejores suelos que otros y que esto se observa en los rendimientos obtenidos y en la longevidad de la caña.

La preparación del suelo es mínima: se pasa el arado tatú tirado por un buey, por lo que el pisoteo es mínimo. Este arado, de elaboración artesanal, muy rudimentario, consiste simplemente en una azada de metal adosada a una barra de madera, que, por medio de otras barras adosadas, es tirada por el buey. Su labor consiste en aflojar el suelo e incorporar el material en superficie. En la tarea de replantación, si se trata de capuera gruesa (malezas de gran porte), sólo se machetea y se planta directamente; si se trata de capuera fina (malezas chicas), se pasa el arado tatú y luego se planta.

3.2. Características del sistema productivo

El cultivo de caña de azúcar se desarrolla en esta Colonia desde hace 50-60 años aplicando conocimientos totalmente empíricos, basados en la experiencia y transmitidos de generación en generación. Si bien el IFAI (Instituto de Fomento Agroindustrial de Misiones), les ha brindado asistencia técnica para la formación de la cooperativa y para su funcionamiento y para los aspectos relacionados con la comercialización, no les ha brindado asistencia específica en los aspectos técnicos relacionados con el cultivo de caña propiamente dicho.

La variedad cultivada tradicionalmente y usada en mayor medida por los socios es "Llave Blanca". Se trata de una caña fuerte, rústica, de buen rendimiento, maduración tardía, gran longevidad y muy adaptada a esta zona: posee un gran vigor y forma grandes matas. Existen parcelas de más de 10 años en muy buen estado de conservación. En general, el 50% de los socios de la cooperativa tiene cañaverales jóvenes (0-4 años), el 31% entre 5 y 10 años y sólo el 5,5% tiene cañaverales de más de 10 años. Una práctica común de los productores es diversificar el cultivo de caña en varias parcelas pequeñas (figura 1), generalmente de distinta edad. En el año 1997 se plantaron nuevos materiales genéticos, traídos desde el Ingenio San Javier en Oberá: se trata de materiales diversos, cuya característica común es la maduración más precoz, por lo que se conocen como variedades tempraneras. Este material fue traído para ampliar el período anual de producción de azúcar, pero el resultado fue poco uniforme. Aparentemente, son cañas más blandas y el jugo que se obtiene es de mejor calidad y más limpio que "Llave Blanca". Sin embargo, no poseen el vigor de la primera, macollan menos, necesitan más cuidados (desmalezados más frecuentes) y la duración depende mucho del tipo de suelo donde se han plantado. En conclusión, si bien la calidad de la caña es mejor, no posee las características de rusticidad, vigor y adaptación que posee Llave Blanca.

Para la plantación de estas nuevas variedades la Cooperativa otorgó un préstamo de U$400 por ha a los productores que estuvieran interesados, que debieron devolver en azúcar producida.

Antiguamente el marco de plantación usado era de 1,2 m entre surco y hasta 0,8 m entre la caña semilla (estaca con 3-4 yemas), una por surco. Las últimas plantaciones se han realizado de a 1- 2 estacas por surco, con una distancia mínima entre ellas 0-20 cm. (en algunos casos se colocó la caña entera y se trozó directamente en el surco) y 1,2 m de separación entre surcos. Según algunos productores, si bien al plantar de este modo el rendimiento inicial es mayor, al plantar con tan poca distancia, no se permite que la caña planta macolle y se desarrolle libremente y con el tiempo va disminuyendo su vigor.

3.3. Otros cultivos

Hasta hace pocos años, algunos productores se dedicaban a la producción de tabaco variedad Burley o Virginia y también al cultivo de yerba mate. Sin embargo, debido al bajo precio, ninguno de los productores se dedica a estos cultivos. Sólo se produce tabaco en cuerda (var. criollo misionero sin ningún tipo de aplicación, ya que se trata de un cultivo muy rústico) para autoconsumo o para ser canjeado entre los mismos colonos.

Para consumo familiar, se producen maíz, zapallo, poroto, mandioca, batata, y algunos pocos también producen maní. Estos cultivos se siembran en parcelas puras o asociando diferentes cultivos en la misma; en el caso del cultivo de yerba mate, algunos podan las plantas sólo para poder plantar entre los surcos batata o zapallo.

Cultivan pasto elefante o pasto panamá *(Pennisetum purpureum),* como alimento

para el ganado. También poseen frutales como cítricos, bananos, guayabos, mango y papaya. Alguno productores tienen plantaciones de pinos de 15 años, aproximadamente. No se realiza ningún cultivo convencional en el mismo predio donde se cultiva la caña. En ninguno de los cultivos mencionados se aplican agroquímicos.

3.4. Abonos y rotaciones

El abono utilizado es la misma chala (hojas) de la caña y la capuera fina (malezas herbáceas) que se incorporan con el arado tatú. El bagazo de la caña no es muy utilizado, ya que tarda mucho tiempo en descomponerse totalmente y además no poseen la tecnología ni herramientas suficientes para incorporarlo. Asimismo, como se utilizan terrenos pedregosos y con una importante pendiente, les resulta más difícil aún. En algunas parcelas, cuando la pendiente lo permite se incorpora con el arado tatú. Se está practicando un experimento con la incorporación de lombrices rojas al bagazo, para poder utilizar el humus producido; pero hasta el momento no ha dado mayores resultados. Otros usos que se le da al bagazo son: para techar algunos galpones y para cubrir los caminos que poseen grandes piedras e impiden el tránsito de los bueyes.

La variedad utilizada por la mayor parte de los productores, aparentemente no tendría altos requerimientos de fertilización. Hay un cañaveral de 45 años que se encuentra muy vigorosa y en perfecto estado.

La producción sustentable de la caña de azúcar está basada en su rotación. Teniendo en cuenta que, en promedio, la caña ocupa alrededor del 10% de la superficie de las fincas, el sistema de rotación es de largo plazo. Las rotaciones respecto a la caña se hace de la siguiente manera: se desmonta y desmaleza un sector, a continuación se cultiva una especie anual y recién entonces se planta la caña. Los productores afirman que no es conveniente plantar la caña directamente en suelo virgen, ya que si el suelo es muy fértil la misma sale "aguachenta" y con muy poco contenido de azúcar.

Luego cultivan la caña por varios años y, en algunos casos, se van replantando sectores que han quedado raleados, por la invasión de malezas. La decisión de no cosechar más el cultivo en una determinada parcela se toma cuando la caña ya sale muy finita y rinde poco (en parcelas de poca fertilidad) o bien porque la misma se encuentra excesivamente enmalezada. Entonces se desmaleza otro sector del predio y se repite la secuencia. Esto permite que, según la duración de la caña, la misma parcela sea utilizada recién cada 50 años.

Los cultivos anuales, en general se rotan todos los años (Ej. Maíz o zapallo-mandioca-poroto- batata)

3.5. Riego

El cultivo de caña no se riega. El agua es obtenida de vertientes (agua que brota naturalmente o ubicada a sólo 1-2 m de profundidad) o de pequeños arroyos cercanos.

No poseen los medios ni la tecnología suficiente como para realizar pozos a mayor profundidad. Por ese motivo, en épocas de sequía, es muy común que sufran la falta de agua, debido a que estas vertientes y los pequeños arroyos se secan rápidamente.

3.6. Manejo de las adversidades

En general no tienen graves problemas de plagas. Los únicos que producen pequeños daños ocasionales en los brotes de caña son los roedores y zorros del monte. No se observó ninguna evidencia de la principal plaga el lepidóptero *Diatraea saccharalis,* o gusano barrenador.

En cuanto a hongos, sólo se observaron muy pocas parcelas con roya anaranjada en sólo la lámina de las hojas y no en el tallo, por lo que no constituye un problema de importancia, ya que no daña el producto final, ni ha provocado disminuciones en el rendimiento.

No se aplican agroquímicos. Algunos productores manifiestan que, como es un cultivo muy rústico, nunca han tenido necesidad de recurrir a ellos. Otros, por respeto a su religión - muchos practican el culto evangelista- tampoco han recurrido a esta práctica ya que está vedada por este culto. Tampoco aplican otro tipo de productos orgánicos o naturales.

3.7 . Manejo y control de la flora espontánea

Desde el punto de vista fitogeográfico la zona se encuadra en la Provincia Paranaense, Distrito de las selvas mixtas, en el que la vegetación se presenta en distintos estratos.

Se observa, entre otras, las siguientes especies arbóreas; correspondientes al primer estrato "lapacho" *(Tabebuia impetiginosa),* "cedro misionero" *(Cedrela fissilis),* segundo estrato "petiribí o loro negro" *(Cordia trichotoma),* "loro blanco" *(Bastardiopsis densiflora),* correspondientes al tercer estrato "ambaí" *(Cecropia adenopus),* y "lecherón" *(Sebastiana brasiliensis),* Cubriendo el segundo y el tercer estrato se observa una bambúcea "cresciuma o tacuarembó", se trata de una especie rizomatosa trepadora con largas cañas que se recuestan sobre la vegetación, usada como forraje, también se observa helechos de los géneros *Adiantum, Polypodium, Pteris y Polystichum* y orquídeas.

En cuanto a los arbustos se verifica la presencia de "fumo bravo" *(Solanum verbascifolium),* "ají del monte" *(Solanum diflorum),* "chamico" *(Datura ferox),* "bandera española" *(Jacobinia pauciflora),* "Verbena rigida" *Lantana tamara*; existe un pequeño arbusto denominado "escoba dura" *(Malvastrum coromandelianum),* que es usado como escoba en muchas viviendas.

La maleza más conspicua de los cañaverales es el "pasto estrella" *(Cynodon Plectostachyum),* asimismo se observan especies de otras gramíneas, pertenecientes a los géneros *Pennisetum, Chloris, Aristida y Andropogon.*

El manejo de las malezas representa un problema que todavía no ha sido solucio-

nado satisfactoriamente. El control tradicional de las malezas era mediante el fuego. Sin embargo, debido a las recomendaciones de la Asociación de Productores Orgánicos de la Provincia de Buenos Aires (APROBA) que es la entidad que certifica la producción, ya no se realiza más. Sin embargo muchos productores no están demasiados conformes ya que afirman que, quemando el cañaveral, luego de la zafra, la caña salía mucho mejor.

El control actual de malezas, en el caso de malezas de gran porte (capuera gruesa), se basa en macheteadas en el entresurco, que se realizan durante los meses de enero, febrero y marzo. Las malezas cortadas se retiran con horqueta o la azada-rastrillo de madera y se usan como leña. En el caso de malezas de menor porte (capuera fina), se pasa el arado tatú, que las incorpora al surco. Existen parcelas con distinto grado de enmalezamiento. En general, las parcelas con caña más joven se presentaban más limpias.

4. Cosecha, post-cosecha, empaque y comercialización

El mayor porcentaje de la zafra se realiza durante el invierno, sin embargo el período se extiende desde mayo a octubre.

La cosecha se realiza manualmente; cortando la caña con machete y pelándola. Luego se limpia con agua y a continuación se colocan en el trapiche. El jugo obtenido es cocido en bateas calentadas a leña y ubicadas en los galpones. Luego se pasa a otra batea fría, revolviendo continuamente hasta obtener el azúcar, que se coloca luego en bolsas plásticas. Cada 10-15 días se acopia el producto en cada predio y se traslada en el carro tirado por bueyes, hasta la sede de la Cooperativa, donde se realiza el acopio y envasado. Allí es pesada, tamizada y trasvasada a bolsas de 20kg. y de 1 kg. y 1/2kg. que se comercializan con una marca propia. Cada 15 días son transportadas hasta la localidad de Leandro N. Alem, desde donde son trasladadas en un transporte alquilado hasta los distintos clientes. Los compradores más habituales son de La Plata, Buenos Aires y un supermercado en Posadas.

La Cooperativa se encuentra incluida en MAELA (Movimiento Agroecológico Latinoamericano). A través de este movimiento se logró obtener un subsidio de un organismo tecnológico alemán (GTZ) de U$24000 para la construcción de un horno con gasificador, para evitar que durante el cocimiento del jugo las bateas no se encuentren en contacto directo con el fuego. De este modo el jugo no entra en contacto con las cenizas que se generan, se ahorra leña y el fuego directo puede ser usado por los productores para hacer sus comidas. (Actualmente sólo unos pocos posen cocina económica y el resto cocina con braseros).

La Cooperativa planea construir un vivero para la producción y venta de distintas especies forestales.

5. Análisis final

El sistema de producción de caña de azúcar orgánica de esta cooperativa, muestra algunas características que favorecen un manejo sustentable en el tiempo, junto con algunos aspectos críticos que deberían mejorarse. Entre los aspectos que se consideran favorables al logro de un manejo sustentable de los agroecosistemas se destacan:

Aspectos ecológicos. Se observan prácticas tendientes, por un lado a conservar los recursos productivos y, por el otro, a evitar o disminuir el impacto ambiental externo.

Entre los primeros, se destacan un manejo adecuado del suelo, con un instrumento (el arado tatú) que no da vuelta el pan de tierra y que sólo se usa cuando no puede plantarse directamente. Gran parte de la superficie permanece permanentemente cubierta, lo que evita o disminuye la erosión, que es un problema importante en zonas de pendiente.

Por otro lado, la rotación del cultivo de caña de azúcar y el uso de variedades adaptadas a las condiciones agroecológicas locales y a su forma de cultivar son aspectos positivos. La pocas superficie relativa dedicada a la caña y el sistema de rotación les permite un tiempo suficiente para que sus parcelas se recuperen. Este hecho, junto con el uso de la variedad local, muy rústica y bien adaptada, impide la dependencia de insumos. La poca aceptación de los agricultores a la incorporación de variedades "más modernas" tiene más que ver con un instinto de disminuir los riesgos productivos, que de buscar altos rendimientos pero aumentando el riesgo o la dependencia de insumos. Con el uso de la variedad "llave blanca", no tienen problemas de plagas ni enfermedades y no les hacen falta fertilizantes. Posiblemente la ausencia de pesticidas mantenga, a su vez, una fauna benéfica en un nivel poblacional suficiente para el control de plagas.

La diversificación, tanto de la caña de azúcar, en parcelas con plantaciones de diferente edad y con diferentes variedades, como en las otras actividades, es otro factor positivo. A su vez, utilizan asociaciones de cultivos, que han demostrado ser sistemas apropiados tanto para disminuir los riesgos climáticos o por adversidades, como para hacer un uso más efectivo del espacio y los recursos, sobre todo en situaciones de bajos insumos (ver capítulo 10). Por otro lado, todos destinan una parte de su superficie para cultivos o actividades destinadas al autoconsumo, incluso con ganado, lo que les permite una dieta balanceada. Para este tipo de productores esto es fundamental, pues les asegura satisfacer sus necesidades básicas de subsistencia. Con ello buscan, más que maximizar el beneficio, disminuir el riesgo, que es lo más crítico.

Aspectos socioeconómicos: El sentimiento de solidaridad, y la buena comunicación entre ellos, son otros aspectos positivos. Sus sistemas son culturalmente aceptables, basados en una tecnología de bajos insumos. Por lo tanto, no están dependiendo de mercados y, algo muy importante, no tienen deudas. Su agrupación en una cooperativa que acopia y vende sus productos es también algo a favor, junto con su pertenencia a un movimiento latinoamericano de agroecología (MAELA). El estilo de agricultura que practican es culturalmente aceptable por su filosofía y por su religión.

En el ámbito regional estos sistemas son también positivos, pues aseguran las condiciones de vida mínimo necesario para que la gente permanezca en el campo y evitan el éxodo hacia las ciudades, con las consecuencias negativas que esto acarrea. Una mejor infraestructura de escuelas y servicios de salud, ayudaría notablemente a este objetivo.

A pesar de los aspectos positivos mencionados respecto al sistema de manejo, se pueden advertir algunos puntos críticos que, de no corregirse, pueden poner en riesgo, a mediano o largo plazo, la sustentabilidad de este estilo de producción. Entre ellos podemos citar:

El manejo de las malezas es problemático: todavía no han desarrollado o probado una tecnología adecuada para solucionar este problema, sobre todo si cultivan las variedades más modernas, menos vigorosas.

A largo plazo se observa también un problema de reposición de nutrientes, por un desbalance entre los que entran y salen del sistema. Estos productores no fertilizan y sólo incorporan una parte de lo que cosechan (la chala) en las parcelas. Esto implica una fuerte exportación de nutrientes, sobre todo si se quema el bagazo de la caña, donde aparece como más problemático el fósforo, ya que este nutriente no puede ser captado, como el N, por leguminosas en las etapas de descanso. Sin embargo, el mismo está minimizado por la poca superficie relativa que se le dedica al cultivo de caña y por el amplio período de descanso de las parcelas, que permite, su recuperación parcial. Si las exigencias del mercado o algún otro factor externo obligan a dedicar una mayor superficie al cultivo de caña, acortando por lo tanto el período de rotación, el sistema puede verse comprometido más pronto. Sería necesario que, dentro de sus posibilidades y las normas de producción, agregaran fósforo al suelo en forma de harina de hueso u otros compuestos compatibles con su estilo de agricultura. De esta manera, estos sistemas podrían mantenerse durante largos períodos de tiempo, satisfaciendo, dentro de sus limitaciones, las necesidades de ésta y de las futuras generaciones.