



Documentos



Siembra Directa en el Cono Sur

*Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y
Agroindustrial del Cono Sur*

Argentina - Bolivia - Brasil - Chile - Paraguay - Uruguay

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA



Documentos


Siembra Directa en el Cono Sur

Coordinador: Roberto Díaz Rossello

Montevideo
Uruguay

*Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y
Agroindustrial del Cono Sur*

Argentina - Bolivia - Brasil - Chile - Paraguay - Uruguay

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura // IICA 

El Proyecto Desarrollo de la Siembra Directa para la Conservación de Suelos en el Cono Sur, se ejecutó en el marco del Subprograma Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola del PROCISUR, durante el período 30/01/1997 al 31/10/2000, contando con el financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Líder del Proyecto: Ing. Agr., MSc, Roberto Díaz Rossello, INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay. Tel. (00598) 574 8000. Fax: (00598) 574 8012.
E-mail: rdiaz@inia.org.uy

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del PROCISUR.

Díaz Rossello, Roberto coord.

Siembra Directa en el Cono Sur / coordinador Roberto Díaz Rossello. — Montevideo : PROCISUR, 2001. 450 p.

ISBN 92-9039-515 X

/SIEMBRA DIRECTA/ /MEDIO AMBIENTE/ /CAMBIO TECNOLÓGICO/ /ENFERMEDADES DE LAS PLANTAS/ /PLAGAS/ /MALEZAS/ /SUELO/ /NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS/ /CONO SUR/

AGRIS F01

CDD 631.51

Las ideas y opiniones expuestas son propias de los autores y no necesariamente pueden reflejar políticas y/o posiciones oficiales del PROCISUR y de las instituciones que lo integran.

Presentación

El Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur – PROCISUR, creado en 1980, constituye un esfuerzo conjunto de los Institutos Nacionales de Tecnología Agropecuaria - INIAs de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay, y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA.

En la última década el PROCISUR prestó especial atención al fortalecimiento de las capacidades institucionales para diseñar nuevos horizontes en la sustentabilidad ambiental del sistema agroalimentario regional. Entre las principales líneas de trabajo que aportaron a este objetivo figura el Proyecto “Desarrollo de la Siembra Directa para la Conservación de Suelos en el Cono Sur” que se ejecutó en el ámbito del Subprograma Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola, y fue financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo – BID.

El Proyecto explotó las sinergias regionales para potencializar la difusión de la siembra directa. En este sentido llevó a cabo dos grandes líneas de acción, por un lado, fortalecer la capacitación de los asesores técnicos que trabajan con los productores y, por otro, intercambiar horizontalmente información tecnológica entre los investigadores; en ambos casos, buscando coordinar y articular acciones en el nivel regional.

La gran mayoría de las actividades realizadas contaron con el respaldo y patrocinio de organizaciones nacionales de productores en siembra directa y de otras instituciones públicas y privadas. El compromiso asumido por la región permitió alcanzar un nivel de ejecución superior al programado. El intercambio técnico, el inicio de la coordinación de investigación en el tema, la elaboración de un número importante de documentos y una red de comunicación a través de internet figuran como los principales productos del proyecto.

El libro que presentamos constituye uno de los ámbitos generados por el proyecto para perfeccionar el desarrollo de la siembra directa con el propósito de mejorar la gestión ambiental, aprovechando las capacidades y competencias del conjunto de la región.

Roberto M. Bocchetto
Secretario Ejecutivo del
PROCISUR

Prefacio

La Siembra Directa (SD) de cultivos ha revolucionado la forma de hacer la agricultura en el mundo en los últimos años, pero es en el Cono Sur de América Latina donde este cambio tecnológico se ha implementado con más velocidad e intensidad. Se trata de una de las regiones con mayor significación mundial en la producción de granos y constituye asimismo la única región del mundo con gran potencial de crecimiento de la frontera agrícola hacia vastas regiones de suelos nunca cultivados.

Actualmente ya se siembran, sin laboreo, cerca de 25 millones de hectáreas de cultivos de granos, lo que representa más de un tercio de la superficie total cultivada. Para visualizar la intensidad de este cambio técnico basta indicar que hace tan solo 15 años, prácticamente, la totalidad de la agricultura se realizaba con laboreo.

Grandes regiones agroecológicas y sistemas productivos pasan por encima de las fronteras políticas de los países constituyendo regiones que en relación al manejo productivo de los suelos comparten problemas y soluciones. Ello dio origen a que en 1996 se implementara un proyecto de integración tecnológica regional para acompañar este proceso de adopción generalizada de la SD. Entre enero de 1997 y agosto de 2000 se ejecutó el proyecto "Desarrollo de la Siembra Directa para la Conservación de Suelos en el Cono Sur" que fue financiado por el BID y ejecutado por PROCISUR dentro del Subprograma Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola, con participación de los INIAs de Uruguay, Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Bolivia.

Se realizaron 13 cursos con una participación promedio de más de 90 personas por curso, lo que permitió capacitar casi 1200 profesionales. Se hicieron siete reuniones técnicas de investigadores, lo que permitió incrementar el conocimiento de las actividades de 400 especialistas en Siembra Directa, superando así un fuerte aislamiento en la región pues no existen otros mecanismos de cooperación horizontal en la temática.

Este libro presenta una selección de los trabajos que fueron presentados en los cursos y anales de las reuniones de especialistas y se les solicitó a los autores una actualización de esas contribuciones. Dado que las mismas no fueron originalmente pedidas y escritas para un libro temático, no son naturalmente homogéneas en estilo ni totalmente complementarias. Su principal valor reside en la naturaleza regional de la información con trabajos de calidad presentados por reconocidos investigadores. El libro tiene una amplia cobertura temática de las diversas disciplinas científicas que abordan aspectos de la SD y donde el criterio de selección más importante priorizó aquellos trabajos cuya información trasciende problemáticas muy locales y puede ser valiosa a una escala más regional.

La gran distribución regional de la publicación permitirá que numerosos técnicos vinculados al desarrollo de la SD accedan a información de países y regiones vecinas en donde no existen antecedentes de libros o publicaciones periódicas en el tema con ese alcance.

Confiamos que el libro sea una contribución significativa al fortalecimiento de una red de comunicación e intercambio técnico entre las organizaciones de investigación, difusión y desarrollo de SD con el propósito de desarrollar la integración tecnológica regional.

Nuestro mayor reconocimiento y agradecimiento para los más de 40 autores que ofrecieron su

colaboración para que este libro fuera posible.

Roberto Díaz Rossello
Ing. Agr., MSc, INIA Uruguay
E-mail: rdiaz@inia.org.uy

Índice

Presentación	iii
Prefacio	v
Cambio técnico e impacto ambiental	
Sistemas de innovación y política tecnológica: siembra directa en el MERCOSUR, por <i>Javier Ekboir</i>	1
Impacto sobre o meio ambiente plantio direto, por <i>Luiz Lonardoní Foloni</i>	19
Impacto ambiental de sistemas intensivos de produção de grãos e de carne bovina na região oeste do Brasil, por <i>Julio César Salton et al</i>	43
Secuestro de carbono atmosférico: ¿un nuevo ingreso para los agricultores del Cono Sur?, por <i>Daniel Martino</i>	55
Enfermedades	
Manejo de enfermedades en siembra directa, por <i>Antonio Ivancovich</i>	67
Principales manchas foliares del trigo asociadas a siembra directa en Argentina – Factores de riesgo y estrategias para reducirlo, por <i>Juan G. Annone</i>	73
Fauna e insectos plaga y benéficos	
Manejo de la fauna del suelo e insectos plaga, por <i>Enrique Castiglioni</i>	89
As pragas sob plantio direto, por <i>Dirceu N. Gassen</i>	103
Principios de manejo integrado de plagas y biocontrol en siembra directa por <i>Christopher J. H. Pruett</i> e <i>Ivett Guamán</i>	121
Benefícios de escarabeídos em lavouras sob plantio direto, por <i>Dirceu N. Gassen</i>	159
Controle biológico de pulgões de trigo, por <i>Dirceu N. Gassen</i>	169
Manejo de <i>Diloboderus abderus</i> en lavouras e pastagens, por <i>Dirceu N. Gassen</i>	173
Dinámica de malezas	
Análisis de los cambios en las comunidades de malezas asociados al sistema de labranza y al uso continuo de Glifosato, por <i>Daniel Tuesca</i> y <i>Eduardo Puricelli</i>	183
Ecología das plantas daninhas no sistema de plantio direto, por <i>Robinson Antonio Pitelli</i> e <i>Julio Cezar Durigan</i>	203
Dinámica y control de <i>Cynodon dactylon</i> en sistemas mixtos de siembra directa y laboreo convencional, por <i>Amalia Rios</i>	211

Propiedades físicas e hídricas

Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa, por <i>Daniel L. Martino</i>	225
El agua y la siembra directa, por <i>Hugo Juan Marelli</i>	259
Efecto de diferentes secuencias de cultivos en siembra directa continua sobre algunas propiedades edáficas de un Argiudol en la región pampeana norte de Argentina, por <i>Hugo Fontanetto</i> y <i>Oscar Keller</i>	269
Efecto de diferentes labranzas sobre propiedades edáficas de un Argiudol y los rendimientos de trigo y soja con dos secuencias agrícolas en la región pampeana norte de Argentina, por <i>Hugo Fontanetto</i> y <i>Oscar Keller</i>	275

Nutrición vegetal

Dinámica de nutrientes y fertilización en siembra directa, por <i>José M. Bordoli</i> ..	289
Dinámica de nitrógeno en ecosistemas agrícolas: efectos de la siembra directa por <i>Fernando O. García</i> y <i>Karina P. Fabrizzi</i>	299
Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa, por <i>Jorge Sawchik</i>	323
Eficiencia del uso del nitrógeno en maíz con siembra directa en la región pampeana norte de Argentina – Efecto de la densidad de plantación, por <i>Hugo Fontanetto</i>	347
Fertilización de cultivos en siembra directa en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina, por <i>Carlos Galarza et al</i>	353
Uso de abonos verdes y rotación de cultivos en el sistema de siembra directa por <i>Ademir Calegari</i>	365
El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo, por <i>Alejandro Morón</i>	387
Comunidad microbiana en suelos en siembra directa, por <i>Arnaldo Colozzi Filho, Diva De Souza Andrade</i> y <i>Elcio Liborio Balota</i>	407

Tecnologías según objetivos específicos

Mecanización apropiada para la siembra directa de los pequeños agricultores en el Cono Sur de América, por <i>Jorge Riquelme</i>	419
Siembra directa en la producción de forraje, por <i>Fernando García Préchac</i>	427



**Cambio
técnico
e impacto
ambiental**

Sistemas de innovación y política tecnológica: siembra directa en el MERCOSUR

por Javier Ekboir *

La siembra directa (SD) es la tecnología más importante adoptada en la producción de granos en el MERCOSUR en los últimos 50 años. La SD revirtió la degradación de suelos, permitió una expansión de la agricultura en áreas marginales, aumentó la rentabilidad de los productores y mejoró la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Mientras que a principios de los años 70 el área bajo SD en el MERCOSUR era muy reducida, en 1999 se usó en aproximadamente 19 millones de ha.

La SD se desarrolló a través de un sistema de innovación participativa, el cual surgió como consecuencia de la debilidad de los sistemas públicos de investigación y extensión, de los intereses comerciales de proveedores de insumos y de las urgentes necesidades de los productores por tecnologías sostenibles. La eficiencia del sistema está reducida por fallas de mercado que caracterizan la producción del conocimiento, y fallas del sistema que surgen por la falta de interacciones entre los actores. La eficacia del sistema puede mejorarse por medio de políticas públicas que: 1) promuevan interacciones entre agentes (públicos o privados) 2) aumenten la eficiencia de la investigación pública, extensión e instituciones financieras, y 3) den libertad suficiente a los investigadores para establecer sus programas de investigación.

Palabras claves: Política de Investigación, Sistema Nacional de Innovación, Innovación Participativa.

Introducción

La siembra directa (SD) es la tecnología más importante adoptada en la producción de granos en el MERCOSUR en los últimos 50 años. La SD revirtió la degradación del suelo, permitió la expansión de la agricultura en áreas marginales, mejoró la rentabilidad de la agricultura y aumentó la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Mientras que a principios de los años 70 el área bajo SD en el MERCOSUR era muy reducida, en 1999 se usó en aproximadamente 19 millones de ha.

La experiencia de SD en el MERCOSUR ofrece importantes lecciones para el diseño de políticas científicas y de extensión. Las investigaciones en SD comenzaron antes de que la mayor parte de los productores sintieran la necesidad de adoptar prácticas de conservación del suelo. Esto demuestra que los programas de investigación cuyas prioridades se fijan sólo en base a las demandas tecnológicas pueden ser demasiado restringidos porque son los investigadores los que primero pueden identificar los usos potenciales de sus investigaciones. Además, el desarrollo de una tecnología puede requerir muchos años (a veces varias décadas). Puesto que las demandas tecnológicas, en general, surgen de problemas existentes o que se esperan en un plazo relativamente corto, las soluciones a los problemas detectados pueden no estar disponibles cuando se las necesita.

* Dr. en Economía. Argentina, Programa de Economía CIMMYT. Dirección: Apdo. Postal 6-641, 06600 Mexico, D.F., Mexico. Tel.: (52)5804 2004, ext.2202. Fax: (52) 5804 7558/9. E-mail: jekboir@cgiar.org

Finalmente, los precios de insumos y productos mientras se desarrolla la tecnología pueden ser muy diferentes de los que se observan cuando la tecnología está madura. Tecnologías que pueden no ser rentables por períodos largos, pueden volverse eficientes cuando cambian los precios relativos (por ejemplo, la informatización posibilitada por la caída en los precios de las computadoras). La determinación óptima de prioridades de investigación debe combinar tanto la oferta como la demanda de tecnologías.

La SD evolucionó a través de interacciones entre un gran número de agentes. Muchas de estas interacciones fueron planeadas mientras que otras sucedieron por casualidad; es decir, la evolución de la SD fue un proceso aleatorio en el cual varias alternativas tecnológicas fueron probadas y desechadas. Estas alternativas fueron desarrolladas en forma simultánea e independiente por diferentes equipos de investigadores. La duplicación de esfuerzos de investigación resultó en soluciones diferentes, las cuales se experimentaron en campos de productores. Si no se hubieran duplicado los esfuerzos de investigación, podría haberse adoptado una tecnología inferior, dado que no existirían alternativas.

La SD fue desarrollada por un sistema de innovación participativa, que surgió como consecuencia de la debilidad de los sistemas de investigación y extensión públicos, los intereses comerciales de los proveedores de insumos, y las necesidades urgentes de los productores por tecnologías sostenibles. En este sistema, los productores tuvieron un papel preponderante en la organización de los mecanismos de difusión. En este trabajo se analizará el Sistema Nacional de Innovación y el esbozo de un marco conceptual alternativo para el análisis de los sistemas de investigación. También se discutirá algunas características económicas de la SD que afectan su adopción. Asimismo se reseña una breve historia de la SD en el MERCOSUR. Se describe la organización actual del sistema de innovación centrado en la SD y también se discuten las políticas para mejorar el funcionamiento del sistema de innovación

Sistemas de innovación y cambio técnico

Una innovación se define como la transformación de una idea en: 1) un producto nuevo o mejorado que se lanza al mercado; 2) un proceso nuevo o mejorado usado por un agente económico, o 3) un nuevo enfoque para una actividad social (OCDE, 1999). Básicamente, una innovación es la capacidad de usar el conocimiento creativamente en respuesta a oportunidades de mercado u otras necesidades sociales (Lele y Ekboir, 1999; Lundvall, 1999; OCDE, 1999).

Una innovación no tiene necesariamente que ser nueva para el mundo o incluso para el país en que se adopta, basta con que sea nueva para el agente que la adopta (Nelson y Rosenberg, 1993). Por esta razón, el crecimiento raramente depende de los agentes en la frontera tecnológica, sino de las actividades innovadoras de la mayoría de los agentes. Las innovaciones dependen de los flujos de conocimiento entre agentes sociales. La transformación de flujos de conocimiento en innovaciones depende de las características propias del conocimiento, de las normas formales e informales (incluyendo las leyes) que regulan el funcionamiento de la sociedad y de la historia de cada proceso. Los agentes involucrados en el proceso de innovación, sus acciones e interacciones, y las reglas formales e informales constituyen el Sistema Nacional de Innovación (SNI) (Archibugi et al., 1999; Nelson y Rosenberg, 1993; OCDE, 1999).

En este marco conceptual, la ciencia y el cambio técnico adquieren un significado nuevo. El análisis tradicional del cambio técnico está basado en una visión lineal de la ciencia: el conocimiento comienza con la ciencia básica, continúa con la investigación estratégica y aplicada, sigue con el desarrollo de la tecnología, y finaliza con la adopción. Sin embargo, los desarrollos tecnológicos, en general, han precedido la comprensión científica de los fenómenos subyacentes (por ejemplo, la máquina de vapor precedió a

la termodinámica), o han ocurrido en líneas de producción por la transformación de procesos conocidos. En la visión sistémica del SNI, las innovaciones son el resultado de complejas interacciones entre agentes, incluyendo múltiples procesos de retroalimentación y ocurren en cualquier etapa de la generación de conocimiento y su aplicación a procesos sociales (Lele y Ekboir, 1999; Nelson y Rosenberg, 1993). Más que un fenómeno lineal, los procesos de innovación se parecen a una telaraña.

Como todo proceso caracterizado por mecanismos de retroalimentación, la historia del proceso es una condicionante importante de las posibilidades de desarrollo futuras. En las etapas iniciales del proceso, pequeños eventos aleatorios pueden determinar el desarrollo futuro; en cambio, cuando el proceso está más desarrollado, varias fuerzas interactúan entre sí y es más difícil que una sola determine grandes cambios en las tendencias fundamentales (Arthur, 1994).¹ En este trabajo, presento varios casos en los cuales las acciones de individuos influyeron decisivamente en el rumbo que tomó el desarrollo de la SD.

El SNI es más amplio que el sistema nacional de investigación. Un SNI puede ser fuerte incluso cuando el sistema de investigación es débil. Esto sucede cuando las inversiones públicas en investigación son pequeñas, pero los agentes buscan activamente innovaciones y las adaptan a su ambiente local. Italia en textiles y Argentina en SD son ejemplos de sistemas de innovación fuertes y sistemas de investigación débiles. Por el contrario, la Unión Soviética de los años 70 es un ejemplo de un sistema de investigación fuerte en un sistema de innovación débil.

Normalmente, los problemas complejos tienen varias soluciones tecnológicas alternativas. Cada una de estas alternativas puede afectar la solución de problemas relacionados. Por esta causa, la "eficiencia" de cada solución depende de las características propias de la tecnología, y de las características de tecnologías complementarias y sustitutivas. Más aún, en un contexto dinámico, la "eficiencia esperada" de una tecnología depende no sólo del conjunto de tecnologías disponibles actualmente sino también del las tecnologías que se desarrollarán en el futuro (Kauffman, 1995). Por ejemplo, la industria aeronáutica desplazó a los trenes como el principal medio de transporte de pasajeros de larga distancia. Esto, a su vez, creó oportunidades para las industrias que abastecen a los aviones y redujo el mercado de las empresas ligadas a la industria del ferrocarril. En sistemas de innovación complejos y continuos, la eficiencia de las tecnologías no depende sólo de las acciones de los agentes, sino también de la respuesta endógena del sistema. Un ejemplo reciente es el abandono de la labranza de conservación en la zona Atlántica de Honduras debido a la aparición de malezas difíciles de controlar por un mal manejo del sistema maíz – mucuna (Neill y Lee, 1999). Estas interacciones hacen imposible estimar a priori los beneficios de una determinada tecnología; consecuentemente, la determinación de prioridades de investigación basadas en estas estimaciones parten de una premisa falsa.

La innovación es un concepto amplio que incluye tanto productos tangibles e intangibles como pequeños cambios organizacionales. Por esta razón no se han podido desarrollar indicadores cuantitativos representativos de las innovaciones. Los indicadores de investigación y desarrollo sólo miden investigación formal pero no incluyen recursos invertidos, por ejemplo, en mejoras de diseño (Nelson y Rosenberg, 1993). Para analizar el sistema de innovación que generó la SD, entrevisté a 62 informantes calificados en Argentina, Brasil, el Reino Unido y Paraguay - incluyendo aquellos que iniciaron las

¹ Arthur (1994) estudió este fenómeno por medio de procesos aleatorios conocidos como procesos de urna o procesos Polya. El mecanismo es el siguiente. En una urna hay dos bolas de diferentes colores. Saquemos una bola al azar y repongamos dos bolas de ese color. En la primera extracción la probabilidad de sacar cada color es 50%, en la segunda extracción es 2/3 y 1/3 (puesto que ahora hay 3 bolas). Después de 1000 extracciones, la probabilidad de un determinado color va a ser, supongamos, 499/1000. Luego de la próxima extracción, la probabilidad va a ser 498/1001 o 500/1001, un cambio muy pequeño. Arthur demostró que el proceso converge a una probabilidad estable diferente de 1, es decir, cuando el número de extracciones se hace muy grande, siempre va a haber bolas de dos colores y en una proporción estable.

investigaciones, productores pioneros, investigadores actuales, y proveedores de insumos- y revisé la literatura pertinente, en particular Derpsch (1998), Senigagliaesi y Masoni (2000) y Wall (1998).

Características económicas de la siembra directa

La SD con adecuada cobertura del suelo tiene más beneficios agronómicos que la siembra convencional porque: 1) reduce la erosión; 2) mejora la conservación de agua; 3) mejora los suelos; 4) reduce el tiempo entre cultivos; 5) aumenta la flexibilidad y oportunidad de las labores agrícolas; 6) puede facilitar el control de malezas, y puede reducir pestes e infecciones cuando es usada con rotaciones adecuadas (Sayre, 1998).

La SD también tiene muchas ventajas económicas: 1) reduce costos para los productores comerciales (grandes y medianos), y en ocasiones también para los productores pequeños; 2) reduce los requerimientos de maquinaria, tanto en variedad como en potencia, disminuyendo la inversión en capital fijo; 3) reduce el uso de trabajo y simplifica su gerenciamiento; 4) se pueden plantar áreas mayores con la misma cantidad de maquinaria y trabajo; 5) puede aumentar los rendimientos por hectárea; 6) en ciertas áreas, permite tres cosechas por año; 7) reduce los riesgos de producción; 8) permite la producción agrícola en áreas marginales; 9) los menores requerimientos de trabajo permiten a los pequeños productores incorporar otras actividades generadoras de ingresos; y 10) aumenta la sostenibilidad económica y agronómica del sistema.

La adopción de la siembra directa fue facilitada porque:

- 1) Los productores obtuvieron algunos beneficios inmediatos tras su adopción; la obtención de todos los beneficios requiere el uso ininterrumpido de la SD por varios años.
- 2) Los costos irrecuperables asociados con la adopción de SD eran pequeños. Puesto que las sembradoras de SD también pueden usarse para siembra convencional, el único costo irreversible era la conversión de una sembradora convencional al sistema de SD (si el productor no compraba una sembradora nueva). El otro insumo especializado era el costo de aprendizaje de la tecnología por parte del productor agrícola. Este costo era pequeño comparado con los costos variables invertidos en la producción de granos. Los productores podían, y en muchos casos lo hicieron, volver a la siembra convencional cuando encontraban problemas que no podían resolver con la SD como, por ejemplo, control de plagas o encontrar un cultivo de cobertura adecuado.
- 3) Las indivisibilidades en la inversión eran poco importantes. Si bien las sembradoras de SD de última generación eran caras, había un mercado importante de sembradoras de segunda mano. Además, la tecnología para convertir una sembradora convencional en una de siembra directa era bien conocida y relativamente barata. Si bien la sembradora transformada no era tan efectiva como una nueva, aún así hacía un buen trabajo.
- 4) La SD podía adoptarse parcialmente o en etapas. A menudo, los productores probaban la tecnología en una parcela pequeña hasta que lograban dominar el paquete tecnológico.
- 5) El paquete tecnológico es complejo, pero como desvíos pequeños de las prácticas recomendadas sólo tienen consecuencias inmediatas menores, los productores pueden aprenderlo usando el paquete. Por ejemplo, si un productor no usa la mejor rotación, las consecuencias no se sienten en el primer año pero se van acumulando gradualmente.

Las restricciones principales para la adopción de la SD son:

- 1) La SD requiere un cambio completo en las prácticas agrícolas. Esta ha sido una de las mayores dificultades enfrentadas por los productores que por años habían escuchado sobre las ventajas de arar. Los investigadores y profesores universitarios enfrentaron problemas similares para cambiar sus líneas de investigación o sus materiales de enseñanza luego de haber invertido años en el estudio de la labranza convencional.
- 2) La presión social puede detener a innovadores potenciales. Las prácticas convencionales indicaban que un buen productor plantaba en un campo limpio y bien arado. Por esto, los primeros en usar la SD a veces fueron considerados haraganes o locos.
- 3) El cambio de la labranza convencional a la SD involucra el aprendizaje de la dinámica de un sistema fuera de equilibrio, el cual normalmente requiere un tiempo largo (más de cinco años) para alcanzar un estado estacionario.²
- 4) Puesto que la SD es muy sensible a las condiciones locales, se requieren esfuerzos de adaptación sustanciales. Aún paquetes que funcionan en una región deben ser adaptados a cada explotación. Los productores más avanzados llegan a cambiar sus prácticas en diferentes potreros. Los componentes que deben adaptarse son: el manejo de los residuos (porque afecta la temperatura del suelo, el manejo de la humedad del suelo, la erosión y la eficiencia de las maquinarias), las sembradoras (pues su eficiencia depende del tipo de suelo y de las prácticas de manejo de los residuos) y el control de plagas y enfermedades.
- 5) La transición alcanza un punto crítico en el tercer año, cuando el productor debe resolver los problemas específicos de su explotación, como, por ejemplo, la evolución de la población de malezas. Algunos productores no pueden adaptar el sistema a sus condiciones particulares y vuelven a la labranza convencional.
- 6) La incidencia de malezas, pestes y enfermedades puede aumentar, especialmente cuando no se usan rotaciones adecuadas.
- 7) Consideraciones económicas de corto plazo pueden hacer que los productores no usen las rotaciones adecuadas, reduciendo la sostenibilidad del sistema. Por ejemplo, hasta la mitad de la década del 90 la diferencia entre una tonelada de soja y una de maíz superaba los US\$100. Muchos productores de granos plantaban continuamente la secuencia soja-trigo o sólo soja, aún sabiendo que esto podría aumentar sus problemas agronómicos en el futuro, porque los beneficios inmediatos compensaban las reducciones esperadas de rendimientos en el largo plazo.
- 8) La tecnología difiere para productores grandes y pequeños. Pero, en general, los pequeños productores no tienen los recursos humanos y económicos necesarios para adaptar el paquete a sus necesidades.
- 9) Comparada con la labranza convencional, los productores pequeños necesitan más insumos comprados.

La investigación en SD se caracteriza por:

- La SD es una tecnología de proceso compleja compuesta por insumos físicos (ej. sembradoras y herbicidas) y conocimiento (especialmente manejo agronómico). Para que el paquete rinda sus máximos beneficios se necesitan todos sus componentes. Puesto que los insumos comerciales son bienes privados, la teoría económica indica que la investigación privada en éstos debe estar cerca del óptimo social. Por otro lado, la creación de conocimiento debería financiarse con fondos

² Tampoco es claro si el estado estacionario existe, o si el sistema lo alcanza alguna vez.

públicos porque es un bien público. La experiencia en SD muestra que la realidad es más compleja que estas simples recetas.

- En la investigación agrícola formal, se repiten experimentos con un diseño estadístico durante varios años. Parte del conocimiento adquirido de esta manera puede obtenerse más rápidamente repitiendo muchas veces un experimento sin diseño estadístico en campos de productores.³
- La mayoría de los desarrollos de la SD no requieren conocimientos científicos complejos, es decir, aún una persona no especializada puede comparar un cultivo plantado en forma convencional con uno cultivado con SD. Esta característica permitió a los productores generar su propio conocimiento, con interacciones limitadas con instituciones de investigación formal.
- Después de décadas de funcionamiento, los canales para la generación y transferencia de información en la mayoría de los cultivos comerciales estaban adecuadamente establecidos. Pero la SD era una nueva experiencia, y estos canales tuvieron que ser creados. Como las instituciones públicas fueron lentas para responder a las necesidades de los productores, se desarrollaron métodos alternativos para la generación y difusión de información.

Historia de la siembra directa en el MERCOSUR

Tradicionalmente se consideraba que la labranza era necesaria para mejorar la infiltración del agua y controlar las malezas. Varios estudios publicados en Inglaterra en la década del 40 demostraron que la labranza no era necesaria si las malezas se controlaban a mano. Después de descubrir el insecticida gramoxone (Paraquat) en 1955, la compañía inglesa ICI financió una cantidad de estudios sobre SD en el Reino Unido.

Rápidamente vieron el potencial comercial de esta nueva tecnología y se dieron cuenta que para alcanzarlo se necesitaba un nuevo paquete tecnológico. ICI invirtió fuertemente para crear un equipo propio de investigación en sistemas agrícolas que incluía agrónomos e ingenieros mecánicos. Al mismo tiempo, analizó el potencial técnico y económico del Gramoxone en varios países. A partir de estos estudios, ICI estableció un equipo de investigación en Australia a fines de los 60. El estudio indicó que el Gramoxone era eficaz contra las malezas presentes en el sur de Brasil, pero no contra las que prevalecían en la región Pampeana (especialmente el sorgo de Alepo). Por esta razón, los esfuerzos de ICI se concentraron en Brasil y, en 1972, estableció allí un programa de investigación.

La siembra directa en Argentina

Hasta la mitad de la década del 70, el sistema de producción predominante en la región pampeana se basaba en una rotación de siete años: dos años de maíz, seguidos por uno de trigo y cuatro años de pasturas. Los años con pasturas permitían al suelo recuperar su fertilidad y estructura natural. La agricultura se intensificó con la mecanización en los 60 y la introducción de la soja a principios de los 70. La rotación de siete años fue reemplazada por el monocultivo de la soja o por la secuencia soja-trigo, lo que trajo serios problemas de compactación; además, en algunas zonas causó erosión y en otras, problemas con la humedad del suelo.

Entre los muchos intentos que se hicieron para resolver estos problemas, se probaron la labranza reducida, la labranza mínima y un primer paquete de SD basado en

³ Otras ciencias, como ser la economía o astronomía, usan procedimientos estadísticos para obtener inferencias de datos no experimentales.

gramoxone. La labranza mínima fue el sistema más usado hasta fines de los 80, pero después de unos pocos años, se hizo evidente que no era la solución buscada porque los residuos incorporados se descomponían con demasiada rapidez.

Las primeras experiencias de SD fueron realizadas en la estación experimental de Marcos Juárez por Marcelo Fagioli en 1964. Estas experiencias fallaron por la imposibilidad de controlar las malezas.

En 1968 INTA y la FAO establecieron en la estación experimental de Marcos Juárez un proyecto de conservación de suelos. Entre otras actividades, el proyecto financió estudios de postgrado. En 1974 tres investigadores de la experimental fueron a hacer sus maestrías a los EE.UU. e Inglaterra, donde conocieron la siembra directa. A su vuelta trajeron una sembradora y probaron la SD en una pequeña parcela. Los resultados los convencieron inmediatamente de las bondades del sistema y organizaron una red de experimentos en campos de productores.

En esta etapa, ninguno de los componentes del paquete estaban disponibles, y el grupo de Marcos Juárez fue el promotor de su desarrollo. Le prestaron la sembradora importada a varias fábricas que la usaron como base para desarrollar sus propios equipos. Las interacciones entre los investigadores y las fábricas eran informales (no se habían firmado acuerdos) y muy activas. Esta asociación funcionó porque las dos partes se beneficiaban con la misma – las fábricas exploraban una nueva línea de maquinaria sin invertir en su desarrollo y los investigadores desarrollaban las herramientas que necesitaban. Además, la investigación era barata y, puesto que no necesitaba de gran conocimiento científico, podía ser realizada por agrónomos con interés por la mecánica.

A fines de 1975, un productor, dos investigadores del INTA y el dueño de la fábrica Schiarre decidieron visitar Passo Fundo, Brasil, que en ese momento era uno de los centros de desarrollo de la SD. En el Centro Nacional de Pesquisa de Trigo de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (CNPT-EMBRAPA) vieron una sembradora Allis Chalmers, que Schiarre usó como base de un prototipo.

Después de las primeras pruebas en 1976, ICI se acercó a los investigadores de Marcos Juárez. Inmediatamente firmaron un acuerdo de cinco años, por el cual ICI financió las pruebas de SD. Además, técnicos de ICI de Brasil e Inglaterra visitaron Marcos Juárez y en 1976 los investigadores de INTA viajaron a la estación experimental de ICI en Brasil donde fueron entrenados en manejo de malezas y el uso adecuado de herbicidas.

En 1977 y 1979, el grupo de Marcos Juárez organizó, con financiamiento de ICI, dos jornadas nacionales de SD, atendidas cada una por unos 300 investigadores y productores. Este grupo de investigadores tenía contactos frecuentes con los centros de EMBRAPA de Trigo (Passo Fundo) y Soja (Londrina), el CIMMYT y la Universidad de Kentucky. Estos contactos eran financiados por PROCISUR, CIMMYT, ICI y la Universidad de Kentucky.

El uso inadecuado de herbicidas y rotaciones condujo a una severa invasión de malezas en las parcelas experimentales. En 1978 la invasión había alcanzado niveles tales que los rendimientos cayeron por debajo de los obtenidos con labranza convencional y los productores e investigadores que no pertenecían al equipo inicial de investigación perdieron interés en la SD.

En un principio, los investigadores de Marcos Juárez recomendaban la SD sólo para soja de segunda. Puesto que el trigo y el maíz se plantaban en fechas con menos lluvias, ellos evaluaban que el menor riesgo de erosión justificaba el uso de labranza convencional. Sin embargo, algunos productores pioneros y extensionistas decidieron probar la SD continua. Los investigadores del INTA eran reacios a recomendar una práctica sin suficientes datos que la avalaran. Un segundo obstáculo a la adopción de SD continua era la falta de sembradoras de grano fino. En 1979 CIMMYT importó una

de Brasil para el grupo de Marcos Juárez, pero no se desarrolló un prototipo local hasta fines de los 80.

A comienzos de los 70, la estación experimental del INTA en Pergamino inició un convenio con INRA (Francia) para mejorar el manejo de la humedad en zonas de secano. Los investigadores locales aprendieron en ese proyecto que se podía usar métodos de cultivo menos agresivos que los que usaban los productores en esos momentos. En 1978, Víctor Zelycovich (un técnico de ese proyecto) y otro investigador de INTA, Hugo Hansen, decidieron montar un experimento para mostrar a los productores lo que habían aprendido en la universidad: a mayor labranza, mayores rendimientos. En el experimento usaron diferentes métodos, desde una labranza muy agresiva hasta SD. Para su sorpresa, los mayores rendimientos se obtuvieron con la SD; entonces decidieron establecer un ensayo de largo plazo. Encontrar el terreno para el ensayo no fue fácil, ya que los directores de la experimental no querían comprometer tierra a una tecnología que no entendían y cuyo potencial era incierto. Finalmente, el experimento fue establecido en una escuela agrícola vecina y pronto atrajo la atención de productores innovadores. Estos productores siguieron de cerca las experiencias pero no probaron la SD en sus campos.

Tanto en Marcos Juárez como en Pergamino las primeras experiencias en SD fueron realizadas por investigadores individuales fuera de sus planes de trabajo formales. En esa época, INTA permitía a sus investigadores dedicar una porción de su tiempo a "tareas complementarias", lo que les permitía investigar ideas fuera de la líneas establecidas de trabajo. En general, sus colegas y administradores mantuvieron una actitud escéptica hasta que la SD ya se había difundido masivamente.

En 1980 Eduardo López Mondo se unió al grupo de Pergamino como becario para estudiar la dinámica de las poblaciones de malezas. En 1983 fue contratado por Monsanto Argentina, desde donde jugó un papel importante en la difusión de la SD.

El grupo de Pergamino conocía los trabajos de Marcos Juárez, pero trabajaban separados porque tenían diferentes objetivos y estrategias de investigación. No tuvieron contactos con ICI y los contactos con universidades de EE.UU. no comenzaron hasta mediados de los 80.

Varios productores que habían prestado parcelas para los ensayos de Marcos Juárez comenzaron a buscar nuevas fuentes de información. Por ejemplo, luego de escuchar una conferencia de Sherly Phillips (Universidad de Kentucky ⁴) en Buenos Aires, uno de los hermanos Rosso viajó a EE.UU. para ver lo que hacían en SD. Allí se dieron cuenta que necesitaban una sembradora y se contactaron con Schiarre para que les hiciera un prototipo. Al mismo tiempo, el dueño de la fábrica de sembradoras Agrometal visitó varias veces el Progress Farm Show y se convenció que la SD era prometedora. Colaboró con el grupo de Marcos Juárez mientras que productores e investigadores colaboraron con otras fábricas para mejorar las sembradoras y las aspersoras.

Rogelio Fogante trabajó como investigador en INTA Marcos Juárez hasta 1976, cuando fue despedido por el gobierno militar. Desde entonces continuó sus pruebas de SD como consultor privado. A pesar de los problemas que no podía resolver, Fogante convenció a varios clientes que siguieran probando alternativas en pequeñas parcelas de unas 10 ha, hasta que desarrollaron un paquete que se podía usar. Estos productores no buscaban la conservación de suelos sino adelantar la fecha de siembra de la soja de segunda.

Las primeras experiencias de SD generaron gran interés entre los productores y varios las probaron en sus campos. Pero pronto la abandonaron por su alto costo, las dificultades

⁴ En ese momento, la Universidad de Kentucky tenía un fuerte programa de investigación en SD.

en el control de malezas y la falta de buenas sembradoras. Se estima que en 1978/79 la SD se usó en 20.000 ha, mientras a que a mediados de los 80 se usó en menos de 3.000 ha.

En la década del 80 varios agentes continuaron trabajando en forma paralela. Los investigadores del INTA trabajaron en el control de malezas y en forma lenta pero continua mejoraron la eficiencia de los herbicidas. Se introdujeron avances en el diseño de los aspersores y también se hicieron intentos por controlar las malezas en forma mecánica. Durante esta década, PROCISUR financió un activo programa de intercambio entre profesionales del INTA y EMBRAPA.

Aunque Monsanto promovió la SD en Brasil desde fines de los 70, Monsanto Argentina no vio la relación entre SD y glifosato hasta mediados de los 80. Por ejemplo, a mediados de los 70 el grupo de Marcos Juárez le pidió a Monsanto apoyo para sus experiencias con SD y se la negaron. Cuando Monsanto Argentina contrató a López Mondo, su misión era vender glifosato, no promover la SD.

Hacia 1985 Agrometal desarrolló un modelo basado en la sembradora John Deer 7000 que tuvo buena aceptación por los productores. Pronto, otras fábricas sacaron sus propios modelos basados en el mismo modelo de John Deer. Hasta fines de la década del 80, sólo había disponibles en Argentina sembradoras de grano grueso para SD. Ninguna fábrica pudo desarrollar un prototipo para granos finos que funcionara. En 1988 un grupo de productores pioneros viajó a Passo Fundo y trajo seis sembradoras Semeato de grano fino. Este fue el comienzo de la siembra directa continua en la región pampeana. En seguida, varias fábricas argentinas desarrollaron sus propios modelos basados en las sembradoras brasileñas.

En 1985 INTA Pergamino lanzó el Programa de Agricultura Conservacionista (PAC), que promovía varias prácticas, entre ellas la SD. Además del PAC, INTA y el Banco Nación lanzaron un programa de crédito subsidiado para la compra de maquinaria para labranza de conservación. El impacto de estos programas en la difusión de la SD fue pequeño, porque el paquete de SD todavía no estaba bien desarrollado, el glifosato era caro y el mensaje sobre la tecnología era contradictorio: remover el suelo "un poco" era equivalente a no removerlo del todo.

A mediados de la década del 80 unos 15 productores pioneros e investigadores del INTA comenzaron a reunirse de manera informal para discutir sus experiencias de SD. Pronto López Mondo se les unió y los convenció de formar una asociación para promover la SD. En 1988 crearon la Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (AAPRESID) con la ayuda de Monsanto que pagó todos los costos de creación. Pronto AAPRESID desarrolló un programa de difusión basado en la comunicación directa entre productores. Una de las razones de su éxito fue la capacidad de conducción de su presidente, Víctor Trucco.

El uso de la SD explotó a partir de 1993. Cuatro factores contribuyeron a este fenómeno: el paquete tecnológico estaba finalmente adaptado a las condiciones imperantes en la región pampeana, el precio del glifosato cayó de alrededor de unos 40 US\$/l a comienzo de los 80 a menos de 10 US\$/l en 1992, AAPRESID desarrolló un programa de difusión muy eficiente y las condiciones económicas luego del paquete de estabilización redujeron los márgenes de ganancia de los productores agropecuarios, forzándolos a adoptar tecnologías más eficientes.

La siembra directa en Brasil

La agricultura en el sur de Brasil se intensificó a fines de los 60 por la expansión de la soja, creando serios problemas de erosión del suelo. La recomendación de las instituciones públicas de investigación y de extensión fue sustituir la agricultura por

ganadería. Para evitar las serias pérdidas económicas que este cambio habría causado, algunos productores empezaron a experimentar con la labranza reducida y otras prácticas culturales. Entre ellos, Herbert Bartz logró reducir los movimientos del suelo al mínimo.

La agencia alemana GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) contrató a Rolph Derpsch para trabajar en un proyecto localizado en IPEAME (Londrina) dirigido a incrementar los rendimientos de soja. Luego de sus primeras experiencias en 1970, Derpsch observó que las prácticas intensivas causaban una erosión seria y comenzó a probar métodos de cultivo alternativos. Derpsch había leído algunos artículos sobre SD y de casualidad encontró en la estación experimental una sembradora alemana que podía ser transformada fácilmente para hacer siembra directa. Entusiasmado por los resultados obtenidos con la SD, Derpsch comenzó a trabajar con Bartz para probar la tecnología en campos de agricultores.

En 1972 Bartz y un vecino viajaron a EE.UU. y el Reino Unido para observar los últimos adelantos en la tecnología de SD e importaron una sembradora de SD. Cuando ellos intentaron usar la SD en sus granjas, encontraron varios problemas, especialmente el control de malezas y el diseño de la sembradora que no se adecuaba a las condiciones de su finca.⁵ El vecino volvió al cultivo convencional, mientras Bartz probó varias alternativas hasta que desarrolló un paquete adaptado a sus condiciones.⁶ Uno de sus mayores problemas fue el control de malezas; tanto que en algunas ocasiones tuvo que recurrir a la limpieza manual de casi 600 ha.

En 1972 ICI estableció un equipo de investigación en Londrina. Dirigido en sus comienzos por Terry Wiles, pronto estableció estrechas relaciones con otros agentes – investigadores del Instituto Agronómico de Paraná (IAPAR) y del CNPT, fábricas de sembradoras (Semeato en especial) y productores pioneros. En esa etapa inicial, ICI fue el motor del sistema que desarrolló el primer paquete de SD. La clave de su éxito fue su estrategia de investigación participativa.

Una contribución importante de ICI fue la importación de una sembradora de SD Allis Chalmers. Trabajando con discos independientes, la sembradora se adaptaba a la topografía local mejor que los modelos basados en el sistema Rotacaster disponibles en Brasil. La sembradora fue prestada a investigadores, fabricantes de maquinaria agrícola y productores. Poco después, pequeños talleres comenzaron a adaptarla a las condiciones locales con el apoyo del CNPT y ICI. Con el tiempo, algunos talleres, como Semeato y Frankhauser, se convirtieron en grandes fábricas.

Las pérdidas causadas por la fuerte erosión obligó a muchos productores agropecuarios a retrasarse en sus créditos. A comienzos de los 70, el gerente de la sucursal Castro del Banco do Brasil⁷ solicitó a un grupo de investigadores y agentes de extensión que recomendaran una solución técnica a la erosión. Siguiendo las recomendaciones del Servicio de Conservación de Suelos estadounidense, recomendaron la construcción de terrazas y elaboraron un cuadro que relacionaba la separación entre terrazas con la pendiente del terreno.

Cuando Manoel Pereira pidió un crédito en 1976, se lo negaron porque, según el cuadro, su campo era muy empinado para agricultura y le recomendaron que cambiara a

⁵ La sembradora estaba diseñada para suelos planos y no funcionaba en las tierras onduladas de Paraná.

⁶ Bartz tomó un crédito para pagar su viaje. A su regreso, planeaba probar la SD en una parcela pequeña, pero una helada fuerte destruyó su cultivo de trigo. Para pagar el crédito Bartz tuvo que vender todas sus máquinas excepto la sembradora de SD (no tenía valor). Así, se vio forzado a usar la SD en toda su finca. Por muchos años, Bartz tuvo que sufrir las burlas de sus vecinos, hasta que la SD pasó a ser una tecnología aceptada.

⁷ El Banco do Brasil era el principal prestamista para el sector agropecuario.

ganadería. Pereira calculó que no podía mantenerse con ganadería y comenzó a buscar alternativas. Un agrónomo le sugirió que podía aumentar la distancia entre terrazas usando SD. Con algunos vecinos, comenzó a probar la SD y pronto se dio cuenta que era la solución que buscaba. A los tres años encontraron problemas que no podían resolver con los conocimientos disponibles en Brasil y decidieron buscar ayuda en el extranjero. En 1979, Pereira y Franke Dijkstra visitaron la Universidad de Kentucky.

A diferencia de Bartz, Pereira y Dijkstra eran muy activos en sus cooperativas locales y tenían un fuerte compromiso con sus comunidades. A su regreso de EE.UU. promovieron la creación del Club de la Lombriz cuyo objetivo era intercambiar experiencias e informaciones sobre SD. Otra consecuencia de la visita fue una fuerte colaboración con la Universidad de Kentucky; profesores y estudiantes de postgrado de Kentucky visitaron asiduamente Brasil y varios profesionales de las cooperativas fueron a entrenarse en EE.UU.

Muchos de los asociados de las cooperativas era pequeños productores. Pereira y Dijkstra indujeron a tres cooperativas vecinas a organizar un programa de extensión para estos productores. La base de este servicio fue la Fundación ABC que realizó (y aún realiza) tareas de investigación y de extensión.

En la primera mitad de la década del 70 IAPAR era una institución de investigación de primer nivel. A fines de la década el gobernador del estado le prohibió continuar las investigaciones sobre SD porque la consideraba una tecnología para productores grandes y era promocionada por una empresa multinacional. También le ordenó a IAPAR concentrarse en tecnologías para pequeños productores. Si bien estas órdenes fueron luego revertidas, IAPAR nunca volvió a tener un papel preponderante en el desarrollo de la SD.

Un paquete de SD adaptado a las condiciones locales fue desarrollado hacia mediados de los 70. Una cantidad limitada de productores probaron el paquete, pero la mayoría lo abandonó porque el control de malezas era difícil y las sembradoras ineficientes. La introducción del glifosato y la investigación realizada por varias instituciones (públicas, privadas, organizaciones de productores y fábricas de maquinaria) produjeron un paquete eficiente a fines de la década del 70. La caída del precio del glifosato en la década del 80 aumentó la rentabilidad de esta tecnología con respecto a la labranza convencional y favoreció su difusión.

La segunda ola de adopción ocurrió a mediados de la década del 80, cuando el gobierno brasileño y el Banco Mundial implementaron el Proyecto Microcuencas. Basado en la experiencia del Club de la Lombriz, el programa promovió el establecimiento de asociaciones de productores y la construcción de terrazas muy altas llamadas Murundun. Esta tecnología había sido desarrollada por técnicos del servicio nacional de extensión (EMATER), los que convencieron a las autoridades que financiaran a los productores la construcción de las terrazas. Estas terrazas eran muy caras, y se rompieron con las primeras grandes lluvias, causando daños mayores que la siembra convencional. Después de un par de años, la SD se volvió la tecnología más recomendada en el programa. Pronto los grupos locales formaron asociaciones regionales como un medio para reducir el costo de generar y recoger información. Las asociaciones de productores recibieron un apoyo muy fuerte (financiero y técnico) de las compañías de herbicidas (en particular, Monsanto e ICI).

A mediados de los 80 la demanda de gramoxone había caído substancialmente porque el control de malezas era más fácil con glifosato. Como las perspectivas comerciales eran malas, ICI redujo al mínimo su programa de investigación y extensión de SD.

La tercera ola de adopción ocurrió a fines de la década del 80 con la colonización de los Cerrados (Brasil central). La tierra barata atrajo a muchos productores pequeños de los estados del sur quienes trajeron con ellos la experiencia de la SD. Sin embargo, las

condiciones ecológicas de los Cerrados diferían sustancialmente de las del sur de Brasil, y el paquete tuvo que ser adaptado. Las asociaciones de productores, fábricas de sembradoras, proveedores de insumos e investigadores individuales colaboraron en el proceso de adaptación.

La cuarta ola de adopción ocurrió en la década del 90. En 1990 un investigador del CNPT y un técnico de Monsanto realizaron un diagnóstico para identificar las causas de la baja adopción de SD por los pequeños productores del estado de Río Grande do Sul. Identificaron tres factores: la necesidad de adaptar el paquete a las condiciones locales, falta de sembradoras adecuadas para los pequeños productores y el insuficiente dominio del paquete por los extensionistas. A partir del diagnóstico, Monsanto promovió en 1993 el proyecto Metas que involucró cinco instituciones.⁸ Estas instituciones se encargaron de solucionar los diferentes cuellos de botella y la adopción avanzó rápidamente. En ese mismo año IAPAR lanzó el programa Plantío Direto na Pequena Propriedade con apoyo de la Federação Brasileira de Plantío Direto na Palha. En este programa participaron investigadores, agricultores, extensionistas e industria. Se compraron 30 sembradoras de SD para tracción animal, las que fueron utilizadas en demostraciones y prestadas a productores en 31 municipios focales de Paraná. De las primeras experiencias surgió la necesidad de mejorar las sembradoras, lo que fue hecho por los investigadores y la industria. Como resultado de estos esfuerzos, entre 1993 y 1995 se vendieron una 2.000 sembradoras de SD para tracción animal en los tres estados del sur de Brasil. Hoy prácticamente el 100% de los granos en el sur de Brasil se producen bajo SD.

La siembra directa en Paraguay

A comienzos de la década del 70 el gobierno de Paraguay favoreció la colonización de la región boscosa que linda con Brasil. Muchos productores de los estados del sur de Brasil emigraron a Paraguay atraídos por las tierras baratas. Estos productores trajeron consigo la experiencia de la siembra directa. La similitud ecológica entre el este de Paraguay y el estado de Paraná permitió el traslado casi directo de las tecnologías brasileñas.

Las primeras experiencias fueron comenzadas a comienzos de los 70 por Rudi Dressler. Las primeras experiencias las hizo en una parcela escondida para evitar los comentarios negativos de los vecinos. A pesar de los problemas con el control de malezas, a los tres años ya estaba convencido de las ventajas de la SD. A partir de ese momento viajó varias veces a Brasil para buscar información. En 1980 importó la primera sembradora de SD.

Viendo los éxitos de los productores pioneros, a mediados de los 80 la Cooperativa Colonias Unidas y varias cooperativas de colonos japoneses establecieron programas de desarrollo y extensión en SD. Estas cooperativas mandaron a sus técnicos a capacitarse en SD a Brasil y la promovieron entre sus socios.

ICI nunca tuvo presencia en Paraguay. En cambio, Monsanto apoyó financieramente la participación de productores individuales en actividades relacionadas con la SD. A partir de ver la experiencia brasileña, varios productores sintieron la necesidad de agruparse y a fines de los 80 crearon la Asociación Paraguaya de Siembra Directa con apoyo de Monsanto.

Pat Wall, agrónomo de CIMMYT, invitó a Paraguay a varios productores e investigadores brasileños a dictar conferencias sobre SD.

⁸ Monsanto (herbicidas) – la fuerza principal detrás del proyecto –, EMBRAPA (investigación pública), Trevo (fertilizantes), Agrocerec (semillas) y Semeato (sembradoras).

A principios de los 90, algunos pequeños productores de la zona de Edelira estaban a punto de quebrar y mudarse a las ciudades. A pesar de las opiniones en contra de varios expertos en SD, el agente de extensión Magin Mesa los convenció de probar la SD. Luego de varios tropiezos lograron desarrollar un paquete adaptado a sus necesidades. En 1999 estos productores se habían convertido en un ejemplo para pequeños productores de todo el mundo,⁹ mandaban a sus hijos a la universidad.

En esa misma época, GTZ estableció un programa de difusión de SD en Paraguay. Inicialmente dirigido a productores grandes y medianos, a partir de 1997 comenzó un programa para pequeños productores.

Las instituciones públicas de investigación tuvieron una participación limitada y tardía. Su mayor énfasis está en el mejoramiento genético y el apoyo a pequeños productores. Los dos centros más importantes en SD son el CRIA en Capitán Miranda y CETAPAR. Pero las acciones de estos centros están limitadas por la rotación de personal (que no permite tener continuidad en los trabajos) y la falta de presupuesto. El gobierno japonés apoya fuertemente estos centros aportando fondos y técnicos.

La organización del SNI que genera la SD

Los agentes

Las *asociaciones de productores que utilizan la siembra directa (APSDs)* son el núcleo de un sistema de innovación que incluye a productores comerciales, proveedores de insumos, financiadores de investigación, ONGs, agencias extranjeras de cooperación, instituciones públicas de investigación, investigadores individuales y agencias gubernamentales. Los miembros son fundamentalmente productores comerciales. Las investigaciones son organizadas, dirigidas y financiadas por los productores con apoyo de agrónomos, investigadores y proveedores de insumos. Estos experimentos no tienen un diseño estadístico y sólo involucran actividades relativamente simples y de bajo costo. Este tipo de investigación sólo puede resolver problemas que no requieren ciencia compleja¹⁰, tal como encontrar mejores rotaciones. En el futuro, se requerirá una investigación más formal para resolver los problemas más complejos que pueden volverse factores limitantes (por ejemplo, control de pestes).

Las APSDs se quejan consistentemente de la poca respuesta de las instituciones públicas de investigación. Las APSDs trabajan activamente con investigadores individuales, pero no intentan influir sobre las instituciones públicas para que éstas canalicen más recursos hacia la SD. Al parecer, los procesos de decisión en estas instituciones son percibidos como demasiado burocráticos y, en muchos casos, como determinados fuera de las instituciones.

A veces, las APSDs invitan a investigadores de instituciones públicas para dar conferencias o aconsejarlas sobre problemas específicos. Las APSDs también organizan visitas a exposiciones, reuniones y explotaciones, tanto en el país como en el extranjero. Las APSDs también organizan programas de entrenamiento y días de campo para compartir experiencias con productores de otras localidades y/o con productores que no usan SD. La base de sus actividades de difusión es la comunicación directa entre productores. El objetivo principal de las APSDs es la generación y la diseminación abierta

⁹ En 1999 estos productores recibían unos 2000 visitantes por año que venían a conocer su experiencia.

¹⁰ En el sentido que ellos no requieren equipo sofisticado, puede ser diseñado por profesionales sin entrenamiento de postgrado y realizado por productores.

de informaciones; un ejemplo claro de la generación privada de un bien público. En resumen, las APSDs cumplen dos papeles: 1) reducen el costo de generación y recolección de información explotando economías de escala, y 2) llenan el vacío dejado por la investigación formal y los sistemas de extensión, los que han respondido lentamente a las necesidades de los productores.

Las *compañías de agroquímicos* financian y a veces organizan proyectos de investigación en instituciones públicas de investigación. Donan sus productos a pedido de las APSDs y de los investigadores. A menudo, los proyectos apoyados por estas compañías no tienen una aplicación comercial inmediata, no se relacionan al producto ofrecido por la compañía o apuntan a reducir el uso de los productos de la compañía. Nuevamente, el resultado de estos proyectos es conocimiento, un “bien público”. Estas compañías realizan en sus laboratorios investigaciones sobre el uso de sus productos, pero no sobre los aspectos agronómicos de la SD. Para identificar sus necesidades de investigación, esas compañías interactúan con productores, instituciones públicas de investigación, APSDs y universidades, pero el desarrollo de sus productos es realizado por sus propios equipos. Sus principales fuentes de información son revistas científicas, patentes y los programas de investigación de los competidores. En lugar de crear sus propios equipos de investigación agronómica, los fabricantes de herbicidas jugaron un papel relevante en la organización del sistema de innovación relacionado con la SD.

Las *fábricas de sembradoras para productores comerciales* tienen sus equipos propios de diseño y realizan tareas menores de investigación; ellas también organizan y financian pequeños proyectos en las instituciones de investigación pública.¹¹ Estas fábricas copian diseños de la competencia¹² y dependen de las instituciones públicas para obtener información sobre temas agrícolas (tal como la evolución del suelo bajo diferentes mecanismos de corte), o de centros de investigación extranjeros para investigaciones más sofisticadas (ej. agricultura de precisión); también reciben información de proveedores. Estas compañías no tienen programas de conjuntos con las APSDs, ni con instituciones de investigación pública; sin embargo, tienen fuertes interacciones con investigadores privados y productores, quienes reportan problemas con los diseños nuevos o existentes.

Las *instituciones públicas de investigación y de extensión* (incluyendo las universidades) jugaron, como instituciones, un papel limitado en el desarrollo de la SD. Estas instituciones fueron lentas en reconocer el potencial de la SD, y fueron renuentes en recomendarla, incluso después de la adopción masiva por los productores; las dos excepciones fueron IAPAR y el CNPT. En algunos casos, las autoridades políticas estuvieron fuertemente opuestas a la SD y proyectos en marcha fueron abortados. Sin embargo, investigadores individuales de estas instituciones colaboraron activamente con las APSDs. La mayoría de las investigaciones en instituciones públicas se realiza en la forma de proyectos iniciados y financiados por compañías comerciales, o comenzados por investigadores individuales con financiación privada (normalmente de los proveedores de insumos). Sólo unas pocas instituciones de investigación (en particular, EMBRAPA) han desarrollado recientemente políticas institucionales hacia la SD.

Los *Gobiernos nacional y estatales* también proporcionaron un apoyo tardío y parcial a la SD. Su contribución principal ha sido promover la adopción, no la investigación. Las *agencias internacionales de cooperación* jugaron un papel importante en los comienzos de la SD y todavía están activos en la región con proyectos dirigidos a los pequeños

¹¹ Semeato es la única empresa brasileña que tiene un equipo de investigación importante. Las empresas extranjeras, en general, también tienen sus equipos de investigación locales ligados a los equipos de sus casas matrices.

¹² Es común que empresas de EE.UU. copien mejoras introducidas por empresas del MERCOSUR y viceversa. El uso de patentes es muy limitado.

productores. Los *pequeños productores* requieren maquinaria especial y cultivos de cobertura especiales. Estos productores tienen recursos limitados para financiar la investigación, para realizarla ellos mismos, o para comprarla como insumos o asesoramiento. Debido a esta limitación, no les resulta conveniente formar asociaciones similares a las APSDs. Su falta de recursos también es la causa de su incapacidad para articular demandas tecnológicas y políticas.

Las *instituciones extranjeras de investigación* y los *productores* generan informaciones útiles a los agentes locales. Muchos agentes de la región visitan otros países del MERCOSUR, EE.UU. y Canadá para seguir los desarrollos de SD introducidos allí. Las actividades de las universidades norteamericanas son particularmente importantes porque ellas realizan investigaciones intensivas en ciencia que, en muchos casos, pueden transferirse fácilmente a otros ambientes.

Interacciones

El impacto de un SNI depende en gran medida de las interacciones entre agentes (OCDE, 1999). Éstas se dividen en dos categorías: intercambios de información y actividades conjuntas de investigación o extensión.

Los flujos de información están centrados en las APSDs para productores comerciales, y en las ONGs e instituciones públicas para los pequeños productores. Las reuniones organizadas por las APSDs son consideradas como la fuente de información más importante por todos los agentes. Este canal es importante porque reúne la información de una multiplicidad de fuentes y después la distribuye libremente. Funciona eficazmente porque es financiado generosamente por productores y empresas comerciales; por esta misma razón no ha funcionado para los pequeños productores.

Los contactos directos entre agentes (por ejemplo, fábricas de sembradoras y productores, o grupos de investigadores) son un canal paralelo (aunque menos importante) para el intercambio de información. Los proveedores de insumos interactúan con una multiplicidad de agentes, financiando la investigación y proporcionando información. Los productores informan a las fábricas de sembradoras sobre problemas de diseño que necesitan ser corregidos.

Son usuales las interacciones entre investigadores de instituciones públicas y otros agentes (investigadores de otras instituciones, productores, o proveedores contribuyentes). Los investigadores normalmente buscan recursos (en especie o en dinero) en empresas o fondos públicos competitivos. Sin embargo, los investigadores de las instituciones públicas se han quejado consistentemente de falta de recursos para investigación, viajes e inversiones en infraestructura de investigación. Las empresas de agroquímicos intercambian activamente entre ellas información no secreta, por ejemplo, discuten el manejo de sus estaciones experimentales.

Fallas del sistema

Los fallas del mercado son la justificación tradicional para las actividades públicas de investigación. La reciente literatura sobre los SNI resalta una nueva área para las políticas públicas: las fallas del sistema que surgen de la falta de interacción entre agentes (OCDE, 1999). En el caso de la SD, éstos incluyen:

1. *Las instituciones públicas de investigación estaban (la mayoría todavía está) basadas en un concepto lineal de la ciencia.* Hasta mediados de los noventa, las instituciones públicas de investigación planeaban sus actividades con poca (y en muchos casos, ineficaz) interacción con otros agentes. En general, los investigadores no se involucraban en tareas de difusión. Los investigadores y agentes de extensión dudaron en recomendar tecnologías que no se habían obtenido con procedimientos formales de investigación. Aún más, la estructura de incentivos en

estas instituciones no favorecía la innovación y la actualización profesional. En consecuencia, muchos funcionarios intentaron evitar el costo de cambiar programas de investigación y reglas de funcionamiento establecidos. A pesar de los cambios ocurridos en la década del 90 en instituciones como EMBRAPA, las conexiones entre el sistema de investigación formal y otros agentes todavía son débiles. Esta falta de respuesta también es evidente en la mayoría de las agencias de financiamiento nacionales.

2. *Los objetivos e instrumentos en las instituciones públicas de investigación a menudo están en conflicto.* Las instituciones públicas de investigación están pasando por un proceso de transformación, pero los objetivos e instrumentos a menudo son contradictorios. Las características principales de estos cambios son: 1) nuevos mecanismos de establecimiento de prioridades, normalmente basados en procedimientos más formales; 2) énfasis en la diversificación de las fuentes de financiamiento y una reducción sustancial en las asignaciones presupuestarias directas; 3) mayor presión para generar recursos a través de la venta de bienes y servicios; 4) reducciones en los cuerpos técnicos y de apoyo y 5) menor libertad a los investigadores para iniciar proyectos basados en la curiosidad. La presión en las instituciones públicas de investigación para generar sus propios recursos las ha obligado a concentrarse en la producción de bienes con valor del mercado -reduciendo la producción de "bienes públicos"- o en investigaciones que responden a necesidades políticas con objetivos de corto plazo.
3. *Manejo centralizado de programas de investigación.* Durante casi 20 años, la SD no fue una prioridad para las instituciones públicas de investigación. Al principio, los investigadores que trabajaron en SD se enfrentaron a, o en el mejor de los casos fueron ignorados por la mayoría de sus pares y autoridades.
4. *Interacciones insuficientes entre instituciones públicas de investigación y las APSDs.* Esta falta de interacción resultó en una respuesta tardía y débil de las instituciones públicas a una necesidad tecnológica importante. Si esta interacción inadecuada continúa en el futuro, problemas que requieren soluciones basadas en la ciencia pueden convertirse en restricciones mayores de la producción agrícola bajo SD.
5. *Los incentivos en las instituciones de investigación y docencia no incentivan investigaciones de calidad, actualización o interacciones con otros agentes.* En muchas instituciones públicas los incentivos a los investigadores se basan en publicaciones académicas. Este sistema discrimina contra actividades interdisciplinarias o de desarrollo tecnológico pues, en general, es difícil escribir trabajos académicos a partir de estas investigaciones. En otras instituciones, las promociones se basan fundamentalmente en la antigüedad en el puesto. Con una sola excepción en Brasil, las universidades no tienen programas de investigación o enseñanza en SD. En general, la SD es un curso menor en programas de estudio convencionales.
6. *Rigidez excesiva de los programas de crédito y extensión.* Los créditos supervisados fueron comunes hasta comienzos de la década del 90. Los investigadores y los políticos elegían de antemano las tecnologías que se financiarían, pero a menudo las tecnologías elegidas eran inferiores a alternativas disponibles.

Conclusiones

La SD es la tecnología agrícola más importante adoptada en el MERCOSUR en los últimos 50 años. La generación y adopción de la SD ocurrió en un complejo proceso de innovación en el que los agentes interactuaban a través de múltiples canales. La eficacia del sistema está reducida por fallas de mercado que caracterizan la producción de conocimiento, y fallas del sistema que surgen de la falta de interacción entre agentes.

La experiencia de SD en el MERCOSUR no se puede explicar por teorías simples de cambio tecnológico, sino que se requiere un enfoque sistémico. Los primeros desarrollos de la SD fueron promovidos por la oferta tecnológica¹³, en otras palabras, una compañía de agroquímicos vio el mercado potencial de una nueva idea e invirtió fuertemente para su desarrollo. El paquete de SD fue desarrollado por el esfuerzo conjunto de investigadores individuales, dos instituciones públicas (IAPAR y CNPT), agencias de cooperación extranjeras, productores pioneros, y proveedores de insumos. Luego de los primeros resultados, es difícil caracterizar el desarrollo de la SD como empujado por la oferta o por la demanda; una descripción correcta incluiría a ambas: después de la maduración del paquete a fines de los 70, el desarrollo de la tecnología fue organizado por las APSDs y los proveedores de insumos críticos (herbicidas y sembradoras).

¿Por qué pudo surgir un sistema de innovación eficaz alrededor de la SD?

1. Una compañía de agroquímicos tuvo mucho interés en el desarrollo de mercados para un producto nuevo. Compañías en otros rubros se sumaron al esfuerzo en la medida que se desarrollaron nuevos productos (ej. sembradoras).
2. Los productores comerciales tenían la necesidad urgente de encontrar soluciones tecnológicas para los problemas de manejo del suelo que les permitieran conservar la soja en su canasta de productos. Además de eliminar la erosión de suelos, la SD trajo grandes beneficios económicos a los productores agrícolas.
3. Debido a la urgencia de los problemas, los productores no podían depender de las instituciones tradicionales de investigación y extensión. Estas instituciones fueron lentas en reconocer la importancia de la SD.
4. Los investigadores, los productores pioneros, las ONGs, y una agencia extranjera de cooperación continuaron investigando en SD a pesar de los grandes problemas que enfrentaron en los primeros años.
5. Puesto que muchos de los problemas no eran intensivos en ciencia, éstos pudieron ser entendidos fácilmente por productores que experimentaron con soluciones alternativas. Las APSDs les permitió reducir el costo de generar y recoger la información.
6. Había una falta de conocimiento anterior sobre SD y los productores tuvieron que crear sus propios canales para intercambiar información. Por otro lado, los sistemas de innovación ligados a la mayoría de los productos con un valor comercial se habían construido durante años, y los agentes sabían dónde buscar información cuando tenían problemas.
7. Las instituciones públicas de investigación y extensión eran débiles, y existía la percepción de que no podrían organizar un esfuerzo importante de investigación y extensión.
8. Durante muchos años, los investigadores individuales en las instituciones públicas tuvieron más libertad para establecer sus programas de investigación que la que tienen hoy.
9. La duplicación de programas de investigación permitió probar diferentes alternativas tecnológicas, hasta que se encontró una que se adaptaba a las necesidades de los productores.

¹³ En 1950 y 1960 la erosión del suelo no era considerada importante en EE.UU., Europa y Sudamérica.

Literatura citada

- ARCHIBUGI, D., HOWELLS, J. Y MICHIE, J., 1999, Innovation Systems and Policy in a Global Economy. En Archibugi, Howells, y Michie (eds.) Innovation Policy in a Global Economy, Cambridge University Press, Reino Unido.
- ARTHUR, W.B., 1994, Increasing Returns and Path Dependence in the Economy, The University of Michigan Press, USA.
- DERPSCH, R., 1998, Historical Review of No-Tillage Cultivation of Crops. **In:** Proceedings to the International Workshop Conservation Tillage for Sustainable Agriculture, Harare, 22-27 June, 1998, Zimbabwe.
- EKBOIR, J.M. Y PARELLADA, G., 2000, Continuous Complex Innovation Processes: Public-Private Interactions and Technology Policy, presentado en la XXIV Conferencia Internacional de Economía Agraria, Agosto 13-18, Berlín, Alemania.
- KAUFFMAN, S., 1995, At Home in the Universe. The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity, Oxford University Press, NY.
- LELE, U. Y EKBOIR, J. 1999, Technology Generation, Adaptation, Adoption and Impact: Towards a Framework for Understanding and Increasing Research Impact. **In:** Krach, U. y Shulz, M. (eds.) Food Security and Nutrition - The Global Challenge, Lit, Münster y St. Martin's Press, NY.
- LUNDVALL, B.-A., 1999, Technology Policy in the Learning Economy. En Archibugi, Howells, and Michie (eds.), Innovation Policy in a Global Economy, Cambridge University Press, Reino Unido.
- NEILL, S. Y LEE, D., 1999, Explaining the Adoption and Disadoption of Sustainable Agriculture: The Case of Cover Crops in Northern Honduras, Documento de trabajo 1999-31, Department of Agricultural, Resource, and Managerial Economics, Cornell University.
- NELSON, R. Y ROSENBERG, N., 1993, Technical Innovation and National Systems. **In:** Nelson, R. (ed). National Innovation Systems, A Comparative Analysis, Oxford University Press, NY.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE), 1999, Managing National Innovation Systems, Francia.
- SAYRE, K.D., 1998, Ensuring the Use of Sustainable Crop Management Strategies by Small Wheat Farmers in the 21st Century, Informe Especial de Trigo No. 48, México, D.F.: CIMMYT.
- SENIGAGLIESI, C. and MASONI, S., 2000, Extensión para la transferencia de tecnología en siembra directa: Un análisis de lo realizado por el INTA, mimeo, INTA, Argentina.
- WALL, P., 1998, Pequeñas Propiedades y la Cero Labranza. Una Visión general de Avances y Limitaciones, conferencia dictada en el Curso Internacional sobre cero Labranza en Pequeñas Propiedades, INIA/PROCISUR, Chillán, Chile.

Impacto sobre o medio ambiente plantio direto

por Luiz Lonardoní Foloni*

Introdução

O crescimento da população a nível mundial, representou no últimos anos uma progressão exponencial, mostrando um aumento explosivo de bocas famintas por alimentos. Por outro lado a expectativa de vida também aumentou, aumentando assim a demanda de alimentos. As Figuras 1 e 2 mostram estes dados:

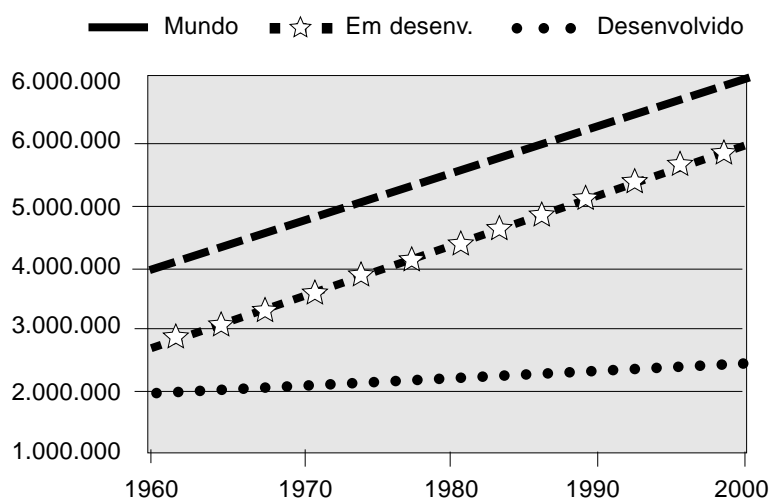


Figura 1a – Tendência da população Mundial, no período de 1960 a 2001, A população teve um crescimento dramático no século 20, com algumas estimativas de explosão demográfica no século 21.

Figura 1b. – Estimativa da população mundial (fonte FAO – In. Farm Chemical Int. (1999)

ANO	POPULAÇÃO
2008	7 bilhões
2019	8 bilhões
2034	9 bilhões
2087	10 bilhões
2088	11 bilhões

* Engenheiro Agrônomo, Ms, Dr. Prof. do Curso de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola – Dagsol – FEAGRI - UNICAMP
E-mail: dagsol@agr.unicamp.br

	1950	1998
Europa		
França	66	78
Alemanha	65	77
Reino Unido	68	77
Africa		
Egito	42	62
Africa do Sul	45	55
Mali	33	47
Asia		
China	41	70
Japão	61	80
Australia	68	80
América		
Argentina	63	75
Brasil	51	65
México	50	72
Estados Unidos	68	77
Fonte : US BUREAU OF CENSUS – International Programs Center. In Farm Chemicals International 1999.		

Figura 2. Expectativa média de vida em alguns países selecionados, mostrando a variação entre os anos 1950 e 1998. Muitos fatores contribuem para o aumento da longevidade humana, mas uma dieta saudável é certamente uma das principais.

A agricultura passou por pelo menos três grandes mudanças neste século. A primeira sem dúvida foi a mecanização das atividades de trabalho.

A Figura 3 mostra esta alteração nos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Com o crescimento da mecanização os países que a adotaram passaram a produzir mais, com menos pessoas.

A segunda grande mudança foi a alteração dos modelos econômicos, deixando o setor primário para a industrialização, fato que provocou uma migração da população rural para as cidades. Assim menos pessoas teriam que dar conta de produzirem a mesma ou maior quantidade de alimentos.

A terceira grande mudança foi a utilização de plantas mais produtivas, isto é através do melhoramento genético, às variedades híbridas (ainda falaremos na biotecnologia que seria a quarta grande mudança). Estas plantas potencialmente podem produzir muito mais, conforme pode ser visto na Figura 4.

Entretanto o aumento de produtividade conseguido através destes melhoramentos, tornou por um lado a planta mais produtiva e por outro menos resistente as adversidades, como pragas, doenças e concorrência de plantas daninhas, as quais exigem fertilizantes químicos para maximizar a produção, a Figura 5 mostra o consumo mundial de fertilizantes no período de 1960 a 1998

Figura 3 - Fontes de força no campo. A força animal ainda é a mais importante forma de lavrar no campo nos países em desenvolvimento.

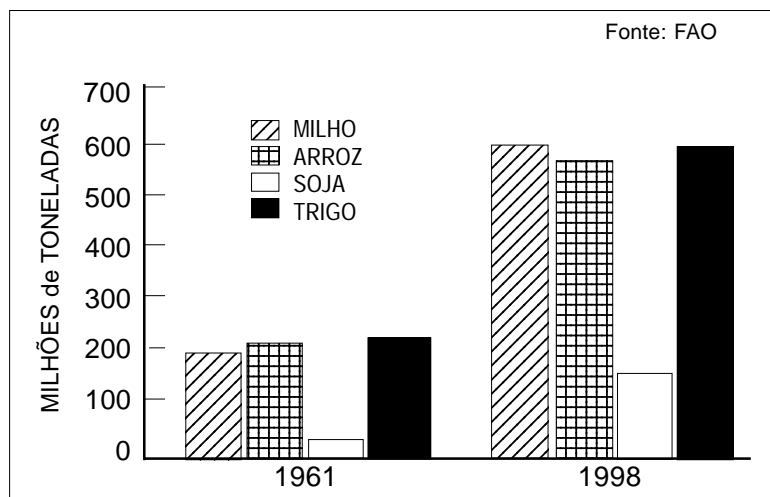
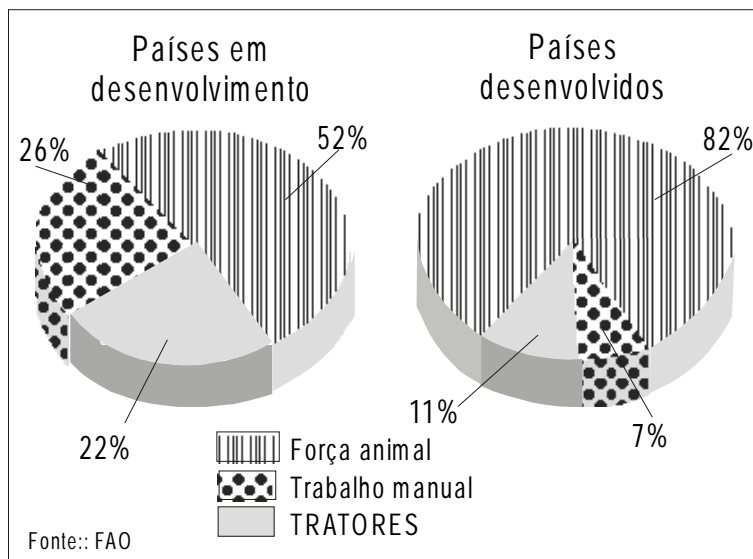
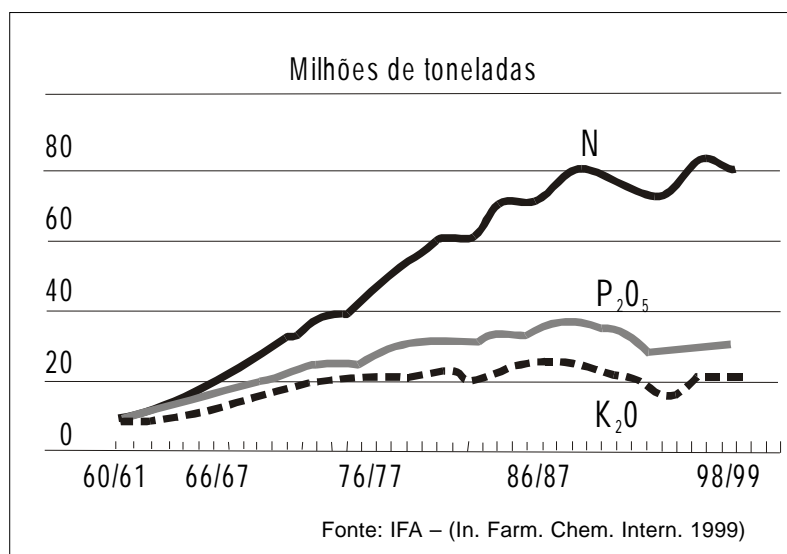


Figura 4- Produção mundial das culturas entre os anos de 1961 e 1998, aumento proporcionado pelas sementes híbridas, fertilizantes, mecanização e aplicação de produtos fitossanitários os quais aumentaram significativamente a produtividade.

Figura 5 – Consumo mundial de Fertilizantes (em milhões de toneladas de nutrientes) no período de 1960/61 e 1998/99. O maior aumento observado é para o nitrogênio.



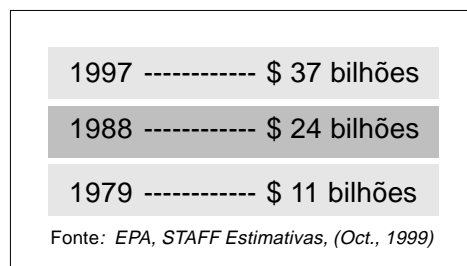


Figura 6 – Vendas de produtos fitossanitários em bilhões de dólares.

Da mesma forma e pelas mesmas razões cresceu o uso dos defensivos agrícolas. A Figura 6 mostra estas variações.

Por outro lados devemos recordar, que nem todo solo se presta para atividade agrícolas, segundo a FAO, somente 11% dos solos mundiais podem ser utilizados, sem irrigação, drenagem ou outros sistemas, como solos agrícolas. A Figura 7 representa os limites dos solos agricultáveis a nível mundial.

No final dos anos 60 foi promovido a nível mundial uma revolução verde, proposta pelo Eng. Agrônomo Dr. Norman Bourlang, ganhador do prêmio Nobel em 1970, na qual foi estimulada a utilização das plantas melhoradas, fertilizadas e produtos fitossanitários em grandes quantidades, com o objetivo de aumentar a produção mundial de alimentos, para que estes não faltassem para aquela população que aumentava de forma exponencial.

A Figura 8 na forma de gráfico de barras mostra a evolução do cenário internacional de alimentos no período de 1966 a 1999 (em bilhões de dólares).

Com esta visão geral, é possível entender que a utilização dos produtos fitossanitários foi uma consequência da evolução da população e uma necessidade fundamental que ajudou a alavancar a produção de alimentos. A necessidade de seu uso tem grande importância no controle de pragas agrícolas e ela se amplia com o desenvolvimento de modelo agroexportador e agroindustrial eficiente e rentável. É hoje uma ferramenta imprescindível no desenvolvimento da moderna agricultura.

Avaliação dos riscos dos produtos fitossanitários

Deve ser lembrado que os produtos fitossanitários ou agrotóxicos como o chama a lei, são substâncias descobertas e desenvolvidas para serem utilizadas no ambiente, como ferramentas na proteção de culturas. Assim, como um produto químico estranho ao meio, ele oferece um risco (Risco é a probabilidade de uma substância causar efeitos adversos. O risco envolve três componentes: periculosidade, intensidade de exposição e probabilidade de exposição). Uma representação gráfica destas interações esta expressa na Figura 9.

Segundo Solomon (1996), a avaliação dos efeitos potenciais sobre o meio ambiente de produtos fitossanitários (agroquímicos) e a revisão dos mais antigos é uma parte importante do processo de desenvolvimento e do controle regulatório (registro) desses produtos. Este processo é necessário para garantir que os produtos fitossanitários sejam usados de maneira a maximizar sua utilidade para o usuário e minimizar o risco para o meio ambiente. Isto visa garantir que o meio ambiente no ecossistema agrícola seja protegido de tal maneira que ele possa ser usado no futuro para a produção contínua e constante de alimentos e fibras.

A avaliação de risco tem um papel crucial no planejamento estratégico e na ajuda à sociedade, para estabelecer as prioridades relativas ao meio ambiente. Neste processo, a avaliação de risco oferece várias vantagens ao processo de gerenciamento de risco segundo Suter et all, 1993, de:

- Ela fornece a base quantitativa para avaliar e priorizar riscos. Se, como geralmente acontece, todas as ações alternativas têm propriedades perigosas, não é possível fazer uma escolha sem caracterizar os riscos.
- Ela oferece meios sistemáticos para melhorar a compreensão dos riscos. Este processo sistemático pode ser usado em várias jurisdições para fornecer os mesmos resultados com os mesmos dados.

Figura 7 – Limites de solos para a Agricultura (em % dos solos totais)

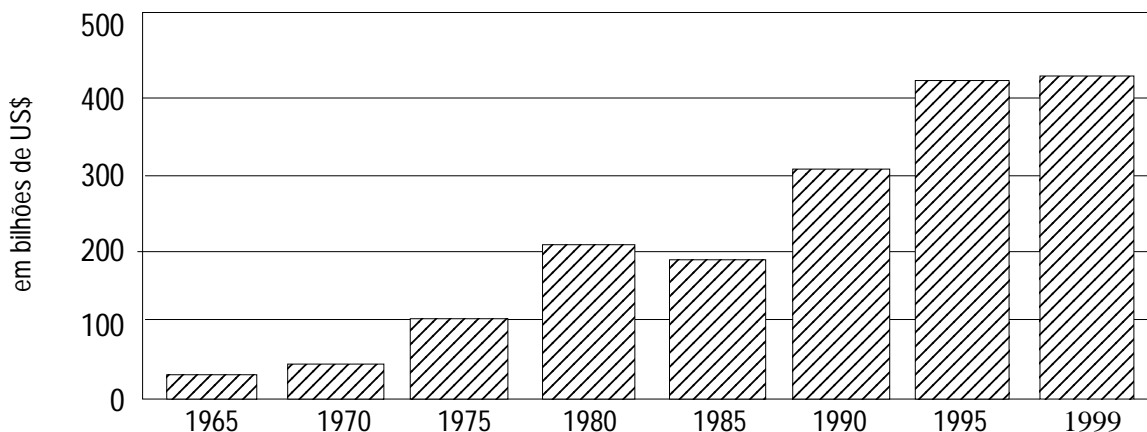
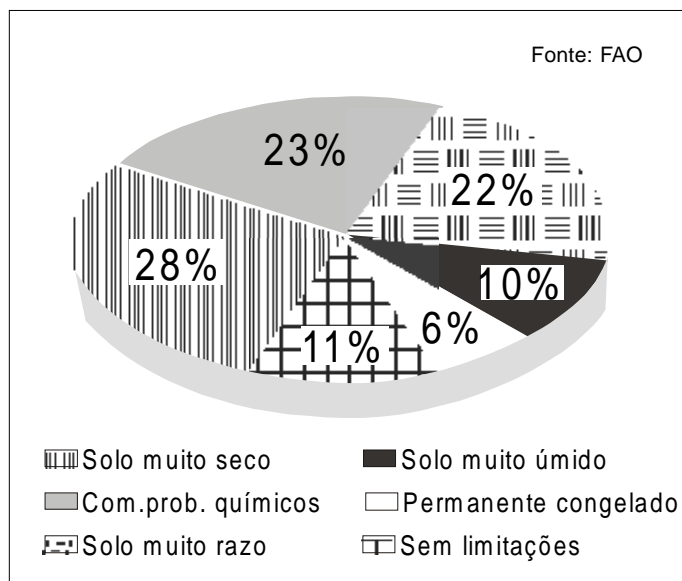


Figura 8- Mercado mundial de alimentos. Estimativa total de exportações.

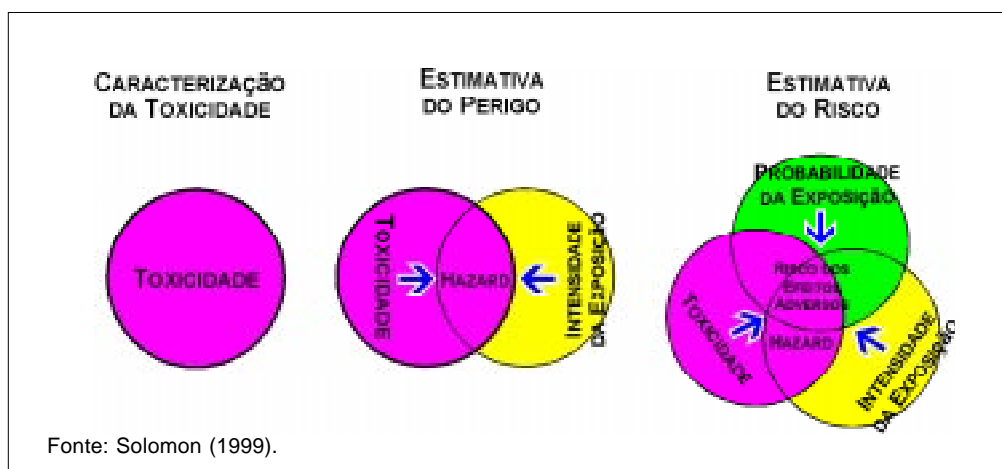


Figura 9 – Representação gráfica das interrelações entre toxicidade, intensidade da exposição e probabilidade da expressão.

- Alicerçando as estimativas de risco e a amplitude dos efeitos em métodos científicos, a avaliação de risco oferece um meio transparente para tomar decisões ambientais, em vez de negociar soluções baseadas no poder político. Baseado numa estrutura científica e nos mesmos conjuntos de dados, qualquer assessor deveria ser capaz de chegar à mesma resposta, independentemente de suas convicções. A transparência e a consistência de tais métodos propicia a garantia de imparcialidade e permite uma análise totalmente científica dos dados para a tomada de decisão.

O emprego de estruturas para a avaliação de risco e a necessidade de medir ambas a toxicidade e exposição, os tipos de procedimentos de avaliação de risco, para avaliação do benefício do risco e do gerenciamento do risco, fazem parte deste trabalho. A seguir são dados alguns conceitos importantes, para o entendimento de avaliação de risco.

Toxicidade: a capacidade de uma substância de causar danos. O potencial venenoso intrínseco de uma substância (em condições experimentais).

Periculosidade: uma combinação de toxicidade e intensidade de exposição. Sem toxicidade ou exposição, não pode haver periculosidade. Uma substância altamente tóxica não apresenta perigo quando não há exposição. Uma substância de baixa toxicidade pode apresentar periculosidade se a intensidade de exposição foi alta.

Risco: a probabilidade de uma substância causar efeitos adversos. O risco envolve três componentes: periculosidade, intensidade de exposição e probabilidade de exposição. Segurança é o contrário de risco mas não pode ser medido cientificamente.

Destino e movimentação de produtos fitossanitários no ambiente

Vários fatores ambientais afetam a persistência, a mobilidade e estabilidade dos produtos fitossanitários no meio ambiente (Figura 10). A persistência e a mobilidade dependem tanto da matriz ambiental na qual o produto fitossanitário está localizado, quanto das características químicas e físicas do produto.

O solo

O destino dos produtos fitossanitários no solo depende principalmente do grau em que são adsorvidos as partículas do solo ou dissolvidos na solução do solo (figura 10)

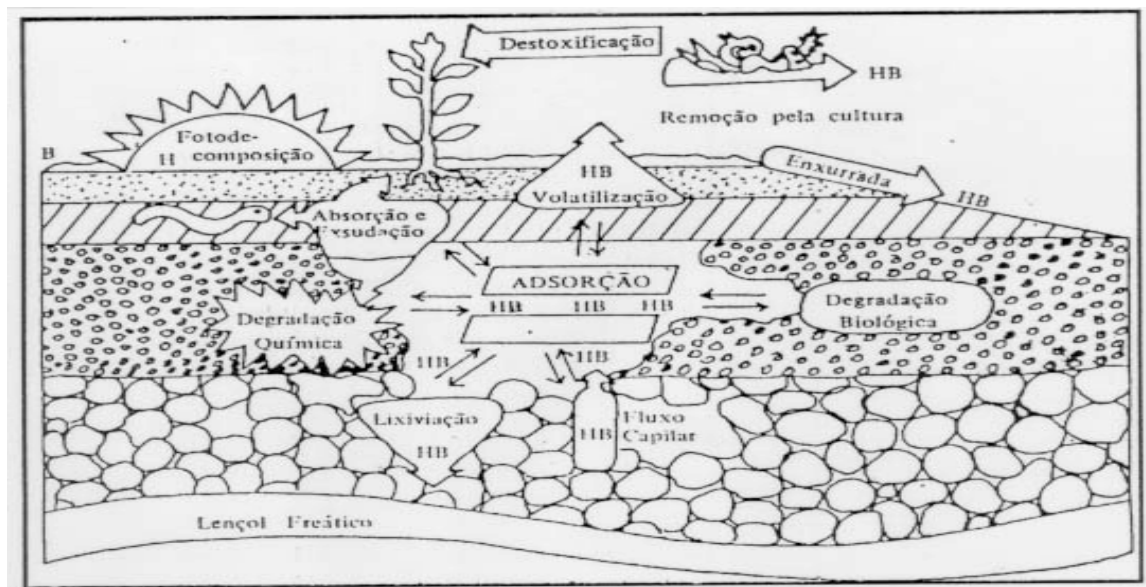
Dissipação dos produtos fitossanitários

A dissipação dos produtos fitossanitários e o desaparecimento dos produtos de uma matriz, como o solo ou a água, sendo uma combinação de dois fenômenos – degradação ou decomposição e movimentação a partir da matriz. No solo, a mobilidade e degradação são influenciadas por vários fatores (Quadro 1).

De um modo simplificado as Figuras 11 e 12 mostram o destino dos herbicidas após a sua aplicação e a influência do conteúdo de água na atividade do herbicida

Degradação dos produtos fitossanitários no solo

Muitos produtos fitossanitários dissipam-se rapidamente no solo. Esse processo é denominado mineralização e resulta da conversão do produto fitossanitário em compostos mais simples como H_2O , CO_2 e NH_3 . Embora parte desse processo seja ocasionado por reações químicas como a hidrólise e a fotólise, o catabolismo microbológico e o metabolismo são geralmente os meios principais de mineralização. Os microorganismos do solo utilizam o produto fitossanitário como fonte de carbono e outros nutrientes. Algumas substâncias químicas (por exemplo 2,4-D) são rapidamente



Fonte: Weber et al. (1973)

Figura 10 – Processos influenciando o comportamento e destino de herbicidas no ambiente. Os processos de degradação são caracterizados pela separação de moléculas de herbicida (HB) intacta.

Quadro 1

<u>Mobilidade</u>	<u>Degradação</u>
Adsorção do solo	Atividade microbiológica
Volume de utilização	Estabilidade química
Captação por plantas e animais	Biodegradação
Lixiviação	Fotodegradação
Propensão do solo para erosão	

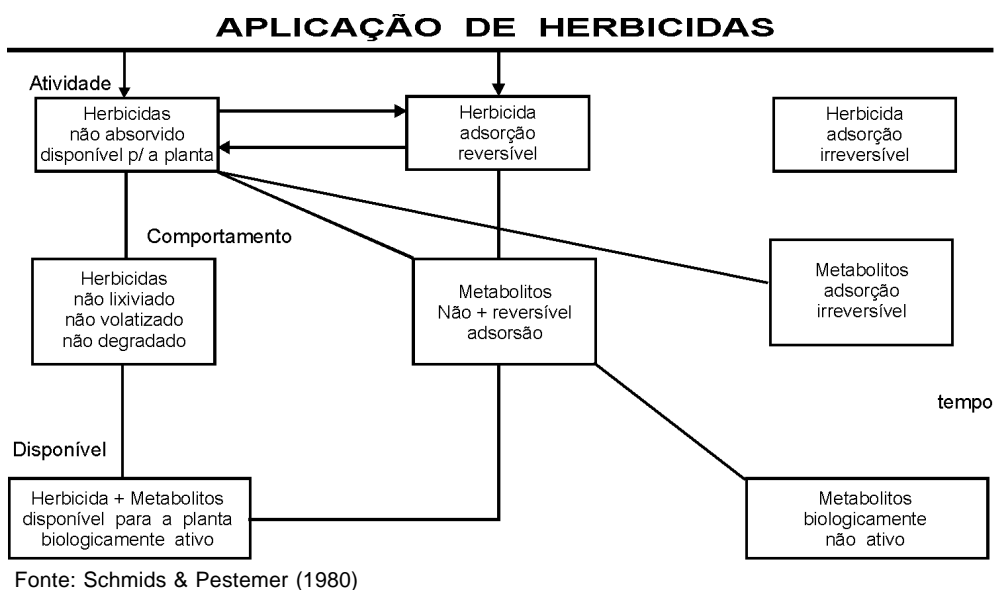


Figura 11. Principais fatores que determinam a disponibilidade p/a planta.

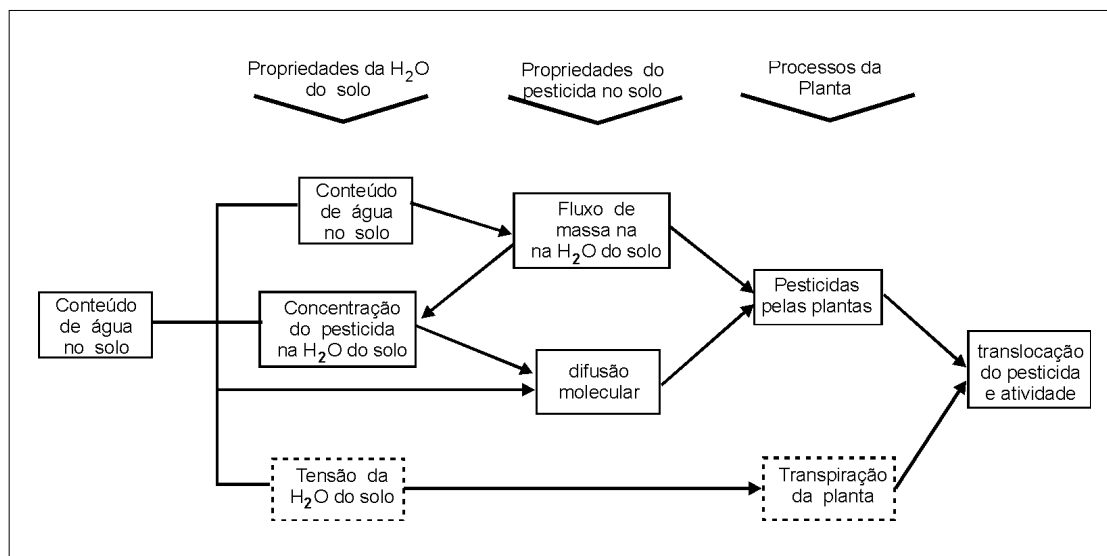


Figura 12. Diagrama esquemática mostrando os prováveis mecanismos pelos quais o conteúdo de água influencia a atividade do pesticida aplicado ao solo.

decompostas no solo, enquanto outras não são atacadas tão facilmente, são moderadamente persistentes e os resíduos podem durar até o ano seguinte (Atrazina).

Água

Fontes de contaminação por produtos fitossanitários

Aplicações intencionais (diretas)

Controle de pragas como mosquitos, borrachudos e mosquitos-pólvora. Geralmente são inseticidas a base de organoclorados e organofosforados e produtos em arroz irrigado herbicidas para o controle de plantas daninhas como o diquat, ésteres de 2,4-D e glifosate.

Aplicações não-intencionais (indiretas)

A contaminação de água pode ocorrer através de vários mecanismos:

- Precipitação atmosférica
- Erosão do solo
- Efluentes industriais
- Esgotos municipais- Derramamentos- Outras fontes.

Fatores que influenciam o destino dos produtos fitossanitários em sistemas aquáticos.

Propriedades químicas e físicas do produto.

Hidrossolubilidade, volatilidade, estabilidade contra a degradação por fatores abióticos (hidrólise, fotodecomposição) e bióticos (degradação microbiana) - tudo isso é importante.

Outras substâncias na água

A composição química como a dureza (como CaCO_3), ou a salinidade influenciam a toxicidade através da formação de complexos químicos.

PH.

A hidrólise de organofosforados e de inseticidas à base de carbamato é fortemente influenciada pelo pH. Apesar de estáveis em pH's baixos (5-7), esses inseticidas são rapidamente hidrolisados em pH's altos (7-10). Por outro lado, herbicidas a base de triazianas são mais estáveis em $\text{pH} > 7$.

Temperatura

O aumento de temperatura geralmente provoca um aumento nos índices de reações químicas, solubilidade, adsorção, volatilização, degradação biológica, etc.

Sedimento

Dependendo de sua natureza química, o produto fitossanitário irá dividir-se na fase aquosa ou ser adsorvido a sedimentos em suspensão e/ou no fundo. Geralmente, os produtos fitossanitários de baixa hidrossolubilidade (alto log P) serão adsorvidos a sedimentos que podem agir como reservatórios para produtos fitossanitários persistentes. Os produtos fitossanitários adsorvidos não se degradam rapidamente.

Vida Aquática

A degradação biológica por intermédio de microorganismos, plantas e animais pode também ser importante na decomposição dos produtos fitossanitários na água.

A biodisponibilidade de um produto aos organismos está principalmente relacionada a concentração real do produto fitossanitário na água e no ar contido no solo (porosidade). A adsorção de produtos fitossanitários às partículas do solo diminui a sua disponibilidade para as plantas e os organismos do solo e, similarmente, a adsorção de produtos fitossanitários aos sedimentos diminui a sua disponibilidade para os peixes e outros organismos aquáticos. As propriedades do solo afetam a adsorção e a dessorção dos produtos fitossanitários da seguinte forma: quanto mais dissolvida na água do solo a substância química estiver, mais biologicamente disponível ela estará.

A biologia do organismo pode também afetar a biodisponibilidade do produto. Por exemplo, a biodisponibilidade será reduzida se o organismo não estiver presente na área, se ele não ingerir sementes tratadas, plantas ou granulos da formulação, ou se o produto fitossanitário for repelente.

Um dos fatores mais importantes no processo inicial de biodisponibilidade (captação) de produtos para os organismos aquáticos e a lipossolubilidade ou a partição em lipídios. Essa propriedade físico-química de uma substância química e normalmente expressa como a proporção entre a sua solubilidade na água e em materiais do tipo lipídeo, como é o caso do octanol - o exemplo experimental mais comum. Essa relação é então expressa como a proporção entre as concentrações no octanol e na água, sendo conhecida como o coeficiente de partição octanol/água, K_{ow} que, convertido em logaritmo, é conhecido como log P.

$$K_{ow} = \frac{[C]_o}{[C]_w} \quad \log P = \log_{10} K_{ow}$$

Em equilíbrio, e sendo todos os outros fatores iguais, o K_{ow} é uma boa forma de prever a bioacumulação, sendo que as substâncias com um K_{ow} elevado também tenderão a se bioacumular em alto grau, a menos que sejam facilmente metabolizadas ou depuradas do organismo. A utilização do K_{ow} para prever a bioacumulação foi demonstrada por Cowan et al (1995).

O Quadro 2 demonstra a relação entre o ecossistema e suas relações com a cadeia alimentar e a bioacumulação e biomagnificação.

Quadro 2 – Relações do ecossistema e a cadeia alimentar	
Bioacumulação	Movimentação do produto fitossanitário da matriz para dentro do organismo.
Biomagnificação	Combinação do movimento do produto fitossanitário da matriz para dentro do organismo e através da cadeia alimentar
BCF	Fator de bioconcentração (bioacumulação), geralmente determinado experimentalmente .
BAF	Fator de bioacumulação (bioconcentração), geralmente determinado experimentalmente e semelhante ao BCF
Cadeia alimentar	Interação linear de organismos em um ecossistema em termos de consumo de alimentos, ex: planta para herbívoro, para carnívoro, para decompositor.
Teia alimentar	Complexo de interações nutricionais dentro de um ecossistema.
Ecossistema	Conglomerado de todos os organismos em uma determinada área, mais as interações desses organismos com as porções não vivas da área

Ecossistemas

Ecossistemas podem ser definidos como unidades funcionais da Biosfera, normalmente auto-sustentáveis e quase sempre sujeitos a perturbações. Qualquer área com uma delimitação definida através da qual o “input” (entrada) e o “output” (saída) de energia e matéria possam ser medidos, contendo três componentes principais (produtores, consumidores e decompositores) e mecanismos de auto-regulação, pode ser caracterizados como ecossistema (Miller, 1975). Um ecossistema terrestre pode ser dividido basicamente em três compartimentos com respeito à biomassa viva; o compartimento dos produtores primários, o compartimento dos consumidores (que inclui todos os herbívoros e carnívoros) e o compartimento dos decompositores.

Agroecossistemas

Agroecossistemas são estruturas mais complexas do que qualquer outro ecossistema terrestre. Além do ciclo de material e fluxo de energia, comum aos ecossistemas terrestres, existem muitos processos manipulados pelo homem. A maioria deles modificando “inputs” e “outputs” e também afetando a taxa de relacionamento interno dos sistemas.

Ainda segundo Santos (1984) o manejo necessário para a manutenção de um agroecossistema pode ser comparado com o manejo necessário para tentar manter

uma área em seus estádios iniciais de sucessão ecológica. O principal interesse, na manutenção de agroecossistemas, tem sido maximizar a produção agrícola utilizando-se da manipulação genética de plantas, associada a uma alta mecanização do trabalho. Portanto, a maximização da produção tem sido conseguida através da diminuição da diversidade dos produtores primários criando sistemas altamente especializados. Esses sistemas atraem consumidores e parasitas igualmente especializados na alocação de recursos que estão concentrados em altas densidades e de forma homogênea. Este estado altamente especializado, só é mantido pela tecnologia que direciona esses sistemas cujo controle de qualidade depende muito diretamente da energia de combustíveis fósseis e seus derivados como fertilizantes e produtos fitossanitários (Haynes et al., 1980).

Os componentes bióticos de um ecossistema (como visto na definição), podem ser divididos em três grandes grupos: - Os produtores - Os consumidores - Os decompositores. Assim os produtores são as plantas (fotossintéticas). Os consumidores (animais) podem ser divididos em vários níveis. Primários (que utilizam os produtores diretamente, ex.: herbívoros e onívoros) Secundários (alimentam-se de consumidores primários, ex.: carnívoros) Terciários (alimentam-se de consumidores secundários, ex.: carnívoros mais evoluídos).

Os passos a seguir que descrevem os princípios da avaliação de risco, foram compilados de um trabalho sobre Avaliação de Risco de Agrotóxicos, organizado por A.Alves, E. Tikotaka, F.A.D. Zambrone, H.Mazotini, J.S.Brito, L.L.Foloni, M.B.Valadão, R. Braatz E S.Schwartzman os quais são resultados de um grupo de trabalho.

Por estar de forma sumarizada e organizada, cabe perfeitamente dentro do escopo do presente trabalho, para atender o processo de avaliação de risco.

Princípios da avaliação de risco

A toxicidade é inerente ao produto, enquanto o risco é a probabilidade da ocorrência de efeitos adversos, como resultado da toxicidade e da exposição.

Do ponto de vista técnico, a parte primordial do processo de decisão sobre como e quando usar agrotóxicos é o da Avaliação de Risco, que consiste no processo de determinar a magnitude, os graus e as probabilidades da ocorrência de efeitos adversos que podem resultar do uso de um agrotóxico.

A avaliação de risco é efetuada obedecendo as etapas seguintes:

- Definição do problema e sua contextualização.
- Análise dos riscos associados com o problema, dentro do contexto.
- Exame das opções para abordagem dos riscos.
- Tomada de decisões com as opções para implementação.
- Ações para implementação das decisões.
- Acompanhamento e avaliação dos resultados das ações.

Este conjunto de ações pode ser representado graficamente como se segue na Figura 13.

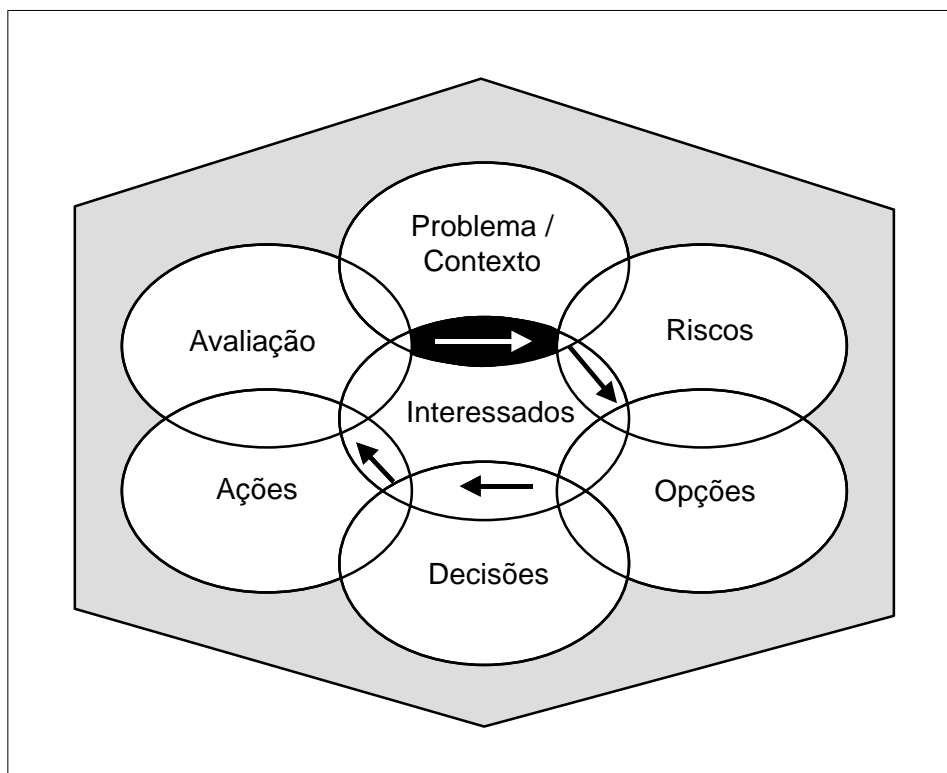


Figura 13. As seis etapas do gerenciamento de risco

Na definição do problema deve-se considerar:

- Identificação e caracterização do problema:
 - Perigo
 - Exposição
- Contextualização:
 - Multifontes
 - Multiambientes
 - Multiquímicos
 - Multiriscos
- Identificação das metas do Gerenciamento do Risco.
- Identificação dos Gerenciadores do Risco.
- Processo de envolvimento dos interessados.

A origem científica da avaliação de risco surge no campo da proteção à saúde humana e ao meio ambiente, passando por grande evolução desde sua primeira implantação. Este processo de avaliação de risco surge do interesse em conhecer a exposição a vários agentes suspeitos de causarem reações adversas para a saúde e ao meio ambiente, por seus efeitos agudos como pelo desenvolvimento de câncer, defeitos congênitos, perturbações neurológicas e de outros problemas patológicos crônicos, assim como pelos efeitos residuais no solo, na água, no ar, nas plantas e fauna.

Componentes da avaliação de risco

Identificação do perigo

A identificação do perigo, que constitui o primeiro passo na avaliação do risco, visa a obtenção de dados sobre os efeitos adversos de uma substância.

Estas informações são obtidas pela execução de provas, testes e estudos, incluindo:

- Epidemiologia.
- Toxicologia em animais de laboratório.
- Bioensaios.
- Estudos clínicos no homem.
- Provas in vitro.

São também importantes os estudos de toxicocinética, determinando as biotransformações que uma determinada substância sofre no organismo humano e as pesquisas sobre toxicodinâmica para avaliar os efeitos causados em diferentes tecidos, órgãos e sistemas do organismo humano.

Os estudos sobre a identificação do perigo incluem, ainda, as pesquisas necessárias para saber se determinados efeitos adversos, observados em animais de laboratório ou em determinados grupos de animais, têm a possibilidade de ocorrer no homem.

A identificação do perigo, quanto a toxicidade humana e animal considera, as seguintes características de um produto:

- Identidade e pureza.
- Propriedades físicas e químicas.
- Toxicocinética e biotransformação.
- Toxicidade animal e humana, estudada através de ensaios in vitro e in vivo, quanto a:
 - Efeitos agudos.
 - Efeitos crônicos.
 - Genotoxicidade.
 - Reprodução e teratologia.
 - Neurotoxicidade.
 - Metabólitos.
 - Outros.
- Estabelecimento de dose sem efeito adverso observável:
NOEL/NOAEL

Os pontos críticos a serem considerados como risco na agricultura são:

- Eficácia.
- Fitotoxicidade.
- Seletividade.
- Efeitos sobre organismos não-alvo.
- Resistência.
- Tecnologias de aplicação e formulação.
- Períodos de carência.
- Resíduos.
- Outros aspectos de interesse agrônomo.

No tocante ao meio ambiente os testes para a identificação do perigo envolvem:

- Ecotoxicidade - envolvendo estudos com pássaros, peixes, crustáceos, algas, plantas aquáticas, minhocas, microorganismos do solo, artrópodos benéficos e abelhas.
- Propriedades físicas e químicas.
- Degradação e transporte - fotólise, hidrólise, degradação no solo e água, mobilidade no solo e volatilidade.
- Bioacumulação.
- Toxicidade para animais superiores.
- Outros estudos relevantes para o meio ambiente.

A Avaliação da dose resposta

Tem por objetivo obter os dados técnicos para que se possa caracterizar o perigo representado pela substância em relação ao seu uso na agricultura, bem como a quantidade ou dose de exposição à substância e os efeitos adversos que ocorrem a cada nível.

Paradigmas do risco à saúde humana - considera as fontes de emissão, a exposição, a dose e as respostas do organismo, todos dependentes de mecanismos determinantes da liberação, transformação, disponibilidade, dano e reparo do organismo. Esquemati-zando pode-se obter o Quadro 3.

Quadro 3. Paradigmas do risco a saúde humana.			
FONTES	EXPOSIÇÃO	DOSE PARA OS ÓRGÃOS ALVOS	RESPOSTAS À SAÚDE HUMANA
Ambiente de trabalho	Ar	Pele	Câncer
Emissões industriais	Gases	Pulmões	Efeitos genéticos
Uso de Produtos	Vapores	Trato gastrointestinal	Doenças funcionais, etc.
	Água	Fígado	
	Alimento	Rins, etc	
AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO		CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
		- Identificação do Risco	
		- Relação dose-resposta	
AVALIAÇÃO DO RISCO			

Os principais pontos a serem considerados são:

- Indicações de uso: cultura, alvo a ser controlado, dose.
- Tipo de uso: forma de aplicação, época e freqüência da aplicação.
- Extrapolação dos resultados obtidos em animais para o homem.
- Ajustes para diferenças de reações entre animais e homens.
- Determinação da dose abaixo da qual não se observam efeitos adversos.

Estimativa de Exposição

Visa estimar as reações adversas ou tóxicas de uma substância e as condições de exposição à mesma, tanto para caracterizar a natureza dos efeitos adversos que possam ocorrer durante a fabricação, uso, consumo ou descarte, como para determinar a probabilidade de ocorrência desses efeitos no homem e no meio ambiente.

A análise deve estar baseada no perigo representado pelo produto e a exposição ao mesmo. A análise cuidadosa do peso de cada evidência científica, que suporta as conclusões sobre o risco potencial a saúde humana e ao meio ambiente, poderá permitir um gerenciamento adequado.

Estes estudos incluem, também, a estimativa da natureza e do tamanho da população exposta à substância e a determinação da magnitude ou intensidade da exposição e sua duração.

Pontos importantes a serem considerados:

- Característica do produto.
- Extensão da cultura.
- Tipo de cultura.
- Tipo de equipamento usado.
- Modalidade de aplicação.
- Ciclo da cultura.
- Modalidade da prática agrícola.
- Contato e absorção.
- Exposições.

Para conhecimento dos níveis de exposição sofrido é importante a integração dos dados disponíveis, através de múltiplos recursos. Assim sendo, verifica-se que:

1. No passado: os estudos tinham por base estudos epidemiológicos e controles de estudos clínicos. Os estudos eram conduzidos para o propósito de vigilância epidemiológica, validando os procedimentos de controle.
2. Atualmente: a utilização de dados de estudos moleculares, celulares e em animais de laboratório para apoio. A utilização destes dados permitem a extrapolação: entre espécies; de sistemas ou órgãos, para o mamífero como um todo; de alta para baixas exposições.

A ciência procura antecipar-se aos acontecimentos, não esperando a ocorrência de efeitos adversos para concluir sobre os riscos que podem decorrer em casos de exposição. Se outrora a observação dos efeitos adversos era qualitativa, o que se procura estabelecer hoje é a quantificação da resposta do organismo à doses definidas de um agente tóxico.

Caracterização do risco

Com base nos estudos anteriores, procura-se determinar os pontos e situações críticos e as alterações possíveis nas condições de emprego ou consumo.

Esta fase inclui a integração dos dados e análises efetuadas nas três etapas anteriores, com a finalidade de determinar a possibilidade de grupos populacionais apresentarem quaisquer das formas de toxicidade e ecotoxicidade associadas à exposição a uma substância.

A questão básica a ser respondida nesta etapa é, qual a incidência esperada de um efeito adverso e qual a sua gravidade ?

Para isto, devem ser cuidadosamente analisados os dados obtidos nas etapas anteriores, os critérios científicos quanto às variações entre diferentes espécies e os fatores de incerteza ou de segurança utilizados.

A caracterização do risco representa ponte de ligação importante entre os dados científicos obtidos nos diferentes estudos e as decisões governamentais, quanto à regulamentação e, também, as de ordem política sobre o gerenciamento e comunicação do risco.

A caracterização do risco tem por base:

- A natureza e a probabilidade do risco para a saúde e ao meio ambiente.
- Risco individual ou coletivo, na fauna e flora.
- Probabilidades diferentes para diferentes indivíduos.
- Severidade dos efeitos adversos ou impactos previamente identificados.
- Reversibilidade dos efeitos.
- Evidências científicas e o seu peso para suportar as conclusões.
- Incerteza sobre a magnitude e natureza do risco.
- Alcance das informações sobre a natureza e a probabilidade de risco.
- Confiança do analista sobre as previsões feitas.
- Outras fontes que podem causar o mesmo tipo de efeito.
- Contribuição da fonte específica para o risco total para o mesmo efeito, na comunidade e no meio ambiente afetados.
- Distribuição do risco em relação a outros riscos na comunidade e no meio ambiente.
- Possibilidade de outros impactos na saúde humana ou ambiental.

A Figura 14 procura agrupar estes conjunto de informações e alcance dos riscos:

A avaliação dos resultados é efetuada pela:

- Relação dos estudos de exposição com os estudos de efeitos na saúde e/ou meio ambiente.
- Determinação das diferenças regionais na prevalência e incidência de doenças ou outros efeitos danosos relacionados com o risco.
- Informação sobre taxas de incidência de doenças **ou outros** danos, especificamente relacionados com causas ambientais.
- Identificação de causas ambientais mais importantes na etiologia de doenças.

Gerenciamento do risco

Concluindo o processo científico de avaliação do risco, devem ser estudadas as medidas relacionadas ao gerenciamento do risco. Procura-se, deste modo, minimizar o risco tanto quanto possível considerando as condições de produção, de uso e do consumo das diferentes substâncias químicas no país.

O gerenciamento do risco é uma decisão técnica e política e depende dos interesses relacionados com a produção, comercialização, consumo ou emprego de uma determinada substância no país.

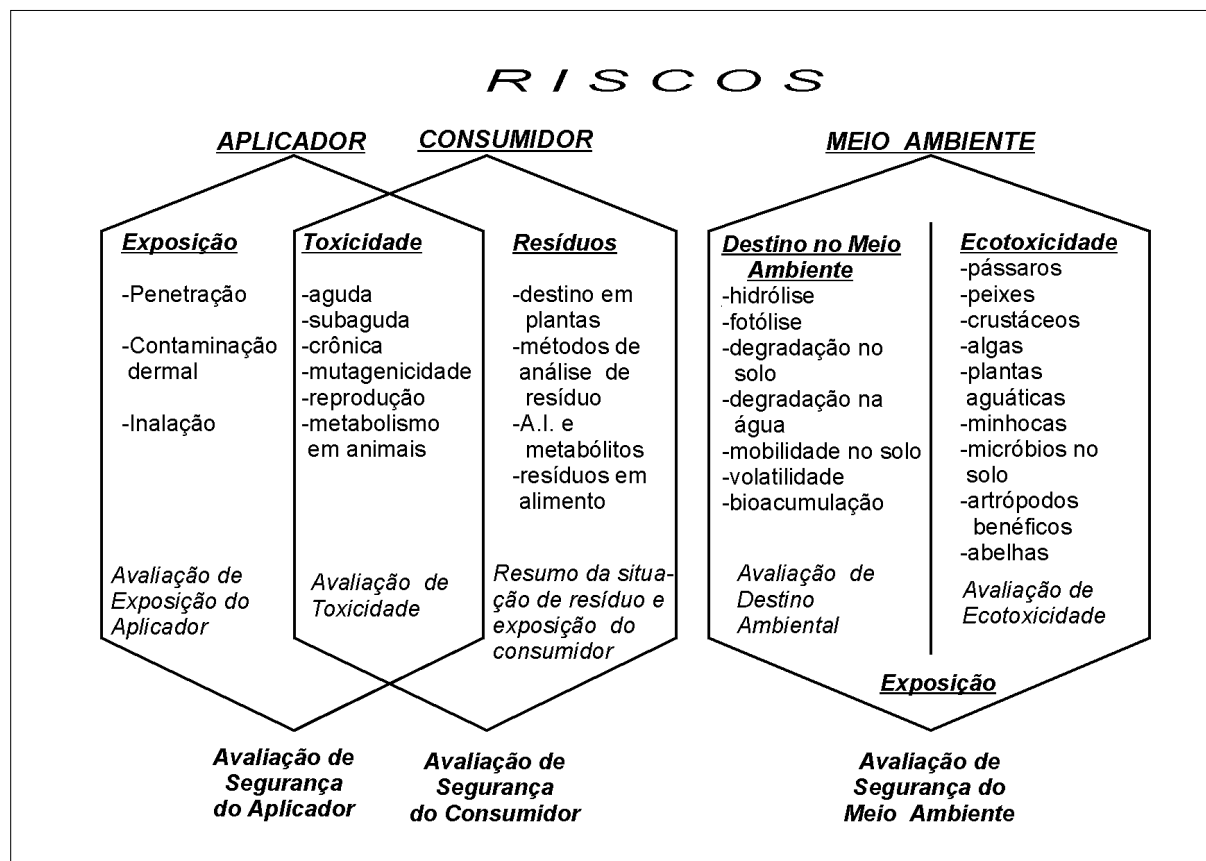


Figura 14 – Avaliação dos riscos e segurança para diferentes grupos.

O risco pode ser diminuído através da adoção de medidas que limitam a exposição, como:

- Modificação de formulações.
- Modificação no modo de aplicação.
- Modificação no intervalo de aplicação.
- Comunicação das recomendações e do potencial de perigo.
- Treinamento, educação e capacitação dos aplicadores.
- Criação de zonas tampão para proteção da vida selvagem.

O gerenciamento do risco pode ser dividido em etapas, com que fazem interface os interessados (stakeholders):

- Problema / contexto.
- Avaliação.
- Ações.
- Decisões.
- Riscos.
- Opções.

A Figura 15 mostra como pode ser utilizado o gerenciamento de risco para atenuar um perigo potencial um risco aceitável.

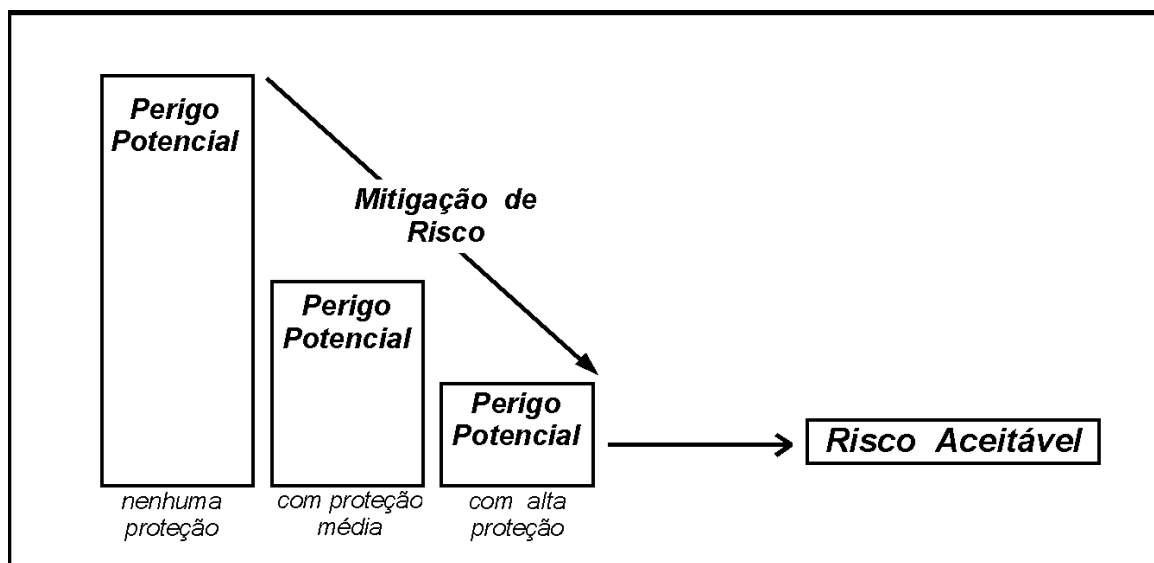


Figura 15 – Gerenciamento de risco – possibilidade de reduzir o perigo potencial

Para a escolha de opções deve-se supor os pontos seguintes

- Criatividade, imaginação e abertura.
- Identificação das opções:
 - regulatórias;
 - não-regulatórias
- Análise das opções:
 - benefícios esperados e eficácia;
 - custos e praticabilidade;
 - limitações tecnológicas, legais e políticas;
 - distribuição dos custos e benefícios;
 - conseqüências adversas potenciais.

A Figura 16 mostra a interrelação entre pesquisa, análise do risco e gerenciamento de risco, as fases de seu desenvolvimento e a quem cabe as decisões.

Conclusões

As abordagens sobre a avaliação de risco devem estar apoiadas em bases sólidas e científicas com gerenciamento correto.

A avaliação de risco requer a participação harmônica de um grupo multidisciplinar e interinstitucional, visando ampliar e melhorar os conhecimentos sobre a "ciência do risco", cooperando no diálogo para conseguir uma abordagem balanceada sobre a regulamentação do risco.

Cabe salientar que entre as etapas e ações desenvolvidas desde a identificação do perigo, análise do risco e gerenciamento do risco, as atividades desenvolvidas envolvem

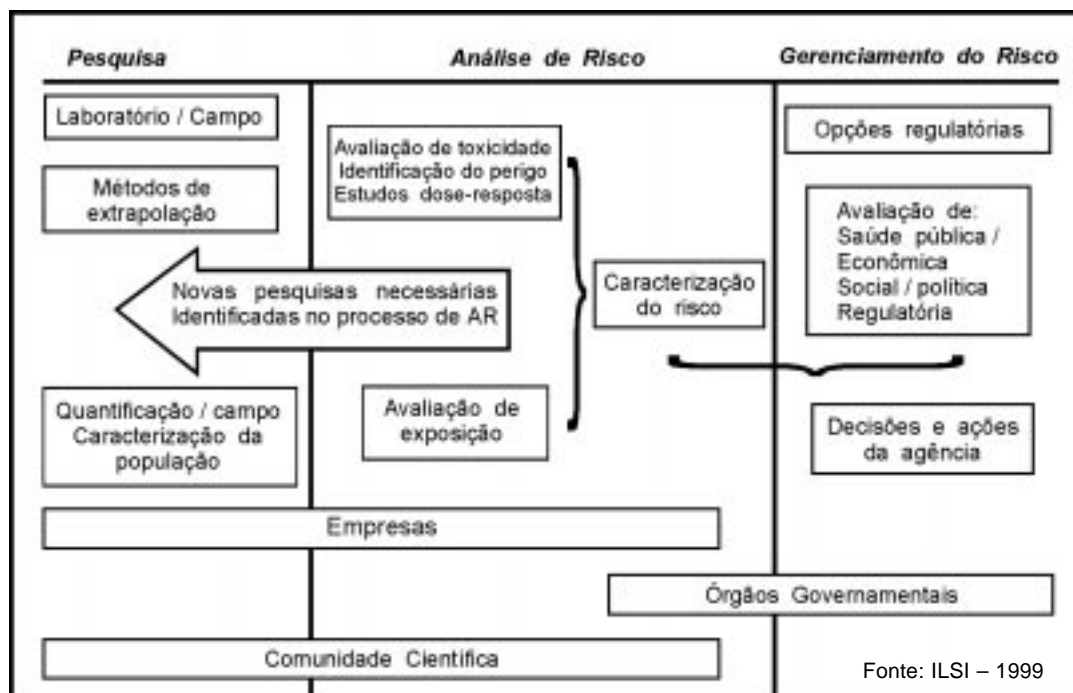


Figura 16 – Interrelação dentro de uma análise de risco e a quem compete sua responsabilidade

o governo, a comunidade científica e o setor privado. O setor privado estará envolvido desde a pesquisa até a análise do risco, a comunidade científica acompanha desde o início da pesquisa até o gerenciamento, cabendo ao governo a tomada de decisão e a fiscalização.

Diante do contexto apresentado, um produto deverá ter seu registro autorizado somente quando os benefícios de seu uso for muito maior que os ventuais riscos a saúde e ao meio ambiente.

Se um risco for avaliado como sendo inaceitável, a reação regulamentadora é a de estabelecer algum tipo de moderação. A moderação do risco dos produtos fitossanitários tem um único objetivo: reduzir a exposição. As ferramentas utilizadas na moderação são tantas quanto o número de produtos fitossanitários mas, de uma maneira geral, há dois tipos de ferramentas: técnicas e regulamentadoras.

As tecnologias utilizadas para reduzir a exposição estão em constante mutação e desenvolvimento. As ferramentas técnicas de redução incluem uma ampla gama de procedimentos, dos quais muitos são específicos da situação. O tratamento posterior dos efluentes é geralmente usado nas instalações industriais. Quanto ao uso de produtos fitossanitários, há muitas opções disponíveis, incluindo da modificação do bico de pulverização até práticas culturais e de manejo integrado de pragas. Estas opções são numerosas e muitas vezes específicas a localização e trabalho.

Avaliação do risco benéfico

Os produtos fitossanitários, devido principalmente a prevenção de perdas de produção, tem reduzido substancialmente o custo do alimento. Estes produtos também tem ajudado a melhorar a qualidade dos alimentos.

De forma geral podemos sumarizar os riscos e benefícios em:

Benefícios

- Controle de pragas, doenças e plantas invasoras.
- Impacto na produção e na qualidade.
- Relação custo/benefício.

Riscos à Saúde

- Aplicador.
- Consumidor.

Riscos ao Meio Ambiente

- Fauna/Flora.
- Solo/Água/Ar.

Com base neste sumario, vamos fazer uma analise do risco/beneficio (Figura 17)

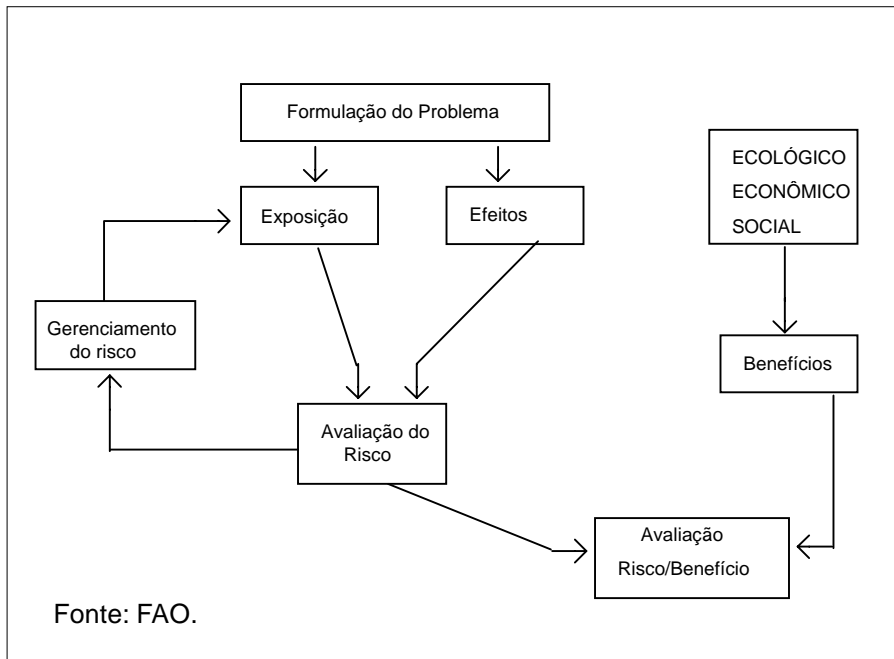


Figura17 - A
avaliação do risco e as análises de risco/benefício como parte de desenvolvimento dos produtos fitossanitários e do processo de registro.

Plantio direto e seu impacto no meio ambiente

No decorrer deste trabalho procurou-se mostrar as relações econômicas, sociais, toxicológicas e ambientais as quais no seu todo permitem a avaliação do risco ecotoxicológico. Dentre os diferentes métodos demonstrados, análises são efetuadas (ou a sua estimativa) principalmente do ponto de vista ecológico. Consideram sobretudo a exposição dos produtos químicos e seus efeitos nos objetivos não alvos. Num sistema racional, pesam os benefícios e com isso procuram priorizar os riscos. (avaliação do risco/benefício). Dentro destes, colocam como benefícios a maximização do uso da terra, a redução da erosão e preservação do solo, citando explicitamente o sistema de Plantio Direto.

O paradigma para o desenvolvimento sustentado dos agroecossistemas preconiza aumentar a produção agrícola considerando a capacidade de assimilação da natureza e a recuperação dos recursos naturais. De acordo com estes princípios, o sistema plantio direto (SPD) na palha é a prática mais indicada para a conservação do solo e para a recuperação da fauna dos agroecossistemas. Neste contexto, os inimigos naturais encontram condições favoráveis para a sobrevivência e o manejo de pragas pode ser praticado em sua plenitude. (Gassen, 1995)

O sistema tradicional de preparo convencional de solo (PC), através de aração e de gradagens, incluindo a queima de palha, determinam a redução da fauna a níveis mínimos, favorecendo a ocorrência de pragas de ciclo biológico curto disseminadas pelo vôo. O SPD, com abundância de palha na superfície do solo, beneficia o retorno da fauna diversificada. Muitas espécies nativas, voltam a estabelecer-se em lavouras sob SPD, algumas causando danos as plantas, outras decompondo resíduos vegetais ou predando insetos. (Gassen, 1995)

Em recente trabalho, realizado no Paraguai (Römbke, 1997) e patrocinado pela GTZ, foram avaliados dois locais distintos: FRIESLAND (região central - solo arenoso) e OBLIGADO (região sudeste - solo argiloso) sob três condições de uso: plantio convencional, plantio direto e floresta nativa (ecossistema). A análise da macrofauna, mesofauna, recolheu e classificou aproximadamente 2.000 animais. A conclusão dos outros foi de que a biodiversidade dos grupos de fauna do solo diminuiu na ordem de florestas (122 grupos) plantio direto (65 grupos) e convencional (58 grupos). Há ainda uma diferença quanto a abundância dos grupos, em função do tipo de cultura. (Römbke, 1997). O Quadro 4 mostra estes resultados.

Quadro 4: Abundância relativa e diversidade de grupos de organismos de solo, coletados em dois campos (plantio convencional e plantio direto) e em floresta, em dois locais (FRIESLAND e OBLIGADO) no Paraguay. (Grupos de < 10 indivíduos por local foram omitidos).

Grupos de organismos	Plantio Convencional AD	Plantio Direto AD	Florestas AD
FRIESLAND			
Oligochaeta	+ + 0	+++	+ + + \hat{A}
Mesarthropoda	+ \mathcal{E}	+ \mathcal{E}	+ + \mathcal{E}
Araneida	+ \mathcal{E}	+ + 0	0
Chilopoda	--	+ 0	+ + + \mathcal{E}
Diplopoda	--	+ 0	+ + + \mathcal{E}
Blattodea	--	+ 0	+ 0
Coleoptera	+ 0	+ + + \mathcal{E}	+ 0
Diptera	0	+ + \mathcal{E}	+ + \mathcal{E}
Hemiptera	+ + 0	+ + + \mathcal{E}	+ \mathcal{E}
Hymenoptera	=	+ + 0	+ + + \hat{A}
Isoptera	+ 0	--	+ + + \mathcal{E}
OBLIGADO			
Oligochaeta	0	+ + + 0	+ + \mathcal{E}
Mesarthropoda	0	+ + 0	+ + + 0
Araneida	+ 0	+ 0	+ + +
Chilopoda	+ 0	+ + + 0	+ + \mathcal{E}
Diplopoda	+ 0	+ + + \mathcal{E}	
Blattodea	--	--	
Coleoptera	+ + 0	+ + + \mathcal{E}	
Diptera	+ 0	--	+ 0
Hemiptera	+ + + 0	+ 0	+ 0
Hymenoptera	+ 0	+ 0	+ + + \mathcal{E}
Isoptera	+ 0	+ + + 0	0

(A) Abundância : + baixo, ++ médio, + alto, - sem sinais

(B) Diversidade : 0 baixo, \mathcal{E} médio, \hat{A} alta.

Gassen (1995) cita ainda que em função da diversidade da fauna no SPD, as estratégias de controle e de manejo de pragas são diferentes das adotadas nas lavouras sob PC. O SPD na palha permite o retorno da fauna nativa diversificada sendo necessário evoluir nas decisões de manejo para tirar maior proveito dos fatores de controle natural das espécies praga.

Considerando que o plantio direto leva uma carga maior de herbicidas, pois estes inicialmente fazem a operação de manejo - eliminação das plantas para a formação da cobertura mostra - substituindo o preparo do solo, no sistema convencional. Tal volume de produtos químicos, aparentemente deveriam prejudicar o solo, mas quando se compara os riscos com os benefícios, por qualquer critério ou sistema, observa-se que o plantio direto, por diminuir ou eliminar a erosão (este sim o maior fator poluente agrícola do meio ambiente) propicia ao longo do tempo melhores colheitas - produtividade, maximização do uso da terra, promovem a volta da vida biológica aos solos. Todos estes resultados indicam que este sistema leva ao caminho de sustentabilidade da agricultura.

Conclusões

Do exposto, pode-se concluir que:

- a) Todos os produtos fitossanitários devem ser considerados como tóxicos, mesmo aqueles de baixa toxicidade. Isto porque o grau de toxicidade é estabelecido a luz dos conhecimentos atuais. Assim, devem ser sempre tomadas adequadas precauções durante o manuseio e aplicação de todos os produtos fitossanitários (dar ênfase as precauções de uso contidas no rótulo e bula dos produtos).
- b) Pelo fato de os produtos químicos serem úteis e muito contribuírem para a saúde, padrão de vida e progressos econômicos, é crucial que os aspectos negativos dos mesmos, como a toxicidade, ecotoxicidade, contaminação do meio ambiente, sejam rigidamente controlados para que estes efeitos adversos não ocorram.
- c) Os produtos químicos devem ser usados sempre de modo adequado, e não podem ser produzidos, utilizados ou descartados de maneira incorreta, descuidada ou indiscriminada, pois poderão apresentar riscos a saúde humana o ao meio ambiente.
- d) Os problemas indiretos ocasionados no campo, via de regra são em função da deriva e volatilização os quais podem ser neutralizados ou minimizados, utilizando-se técnicas e métodos de aplicação, limpeza do equipamento, aplicação de acordo com a condição climática adequada e/ou o uso de formulação adequada.
- e) Ainda hoje a agricultura convencional, utilizando os defensivos agrícolas e outros insumos modernos e a maior fonte de alimentos para o homem.
- f) Atualmente devido os modelos econômicos e agrícolas utilizados, o uso de insumos modernos em larga escala, são imprescindíveis. Cabe uma conscientização dos técnicos e usuários, sobre seu uso correto e cuidados, para se não minimizar os erros, que possam provocar desastres pessoais, toxicológicos e ambientais.
- g) A relação custo/benefício, somada a série de vantagens do sistema de plantio direto, embora (manejo), que no sistema convencional, permite uma relação vantajosa de vantagens: controla a erosão, melhora as características do solo, a produtividade, a maximização do uso da terra (rotação de culturas) além de promover uma maior biodiversidade de espécies no solo.
- h) Com certeza, é o sistema de cultivo de larga escala, que traz menor impacto, ou seja menor risco ecotoxicológico, promovendo a sustentabilidade do sistema.

Literatura citada

- ALVES, A.; KOTAKA, E.T.; ZAMBRONE, F.A.D.; MAZOTINI, H.; BRITTO, J.C., FOLONI, L.L., VALADÃO, M.B.; BRAATZ, R.; SCHVARTSMAN, S. 1999. Avaliação de Risco de Agrotóxicos, Diretrizes e Conceitos Básicos. ILSI. Brasil, International Life Science Institute do Brasil. 43 p.
- ASSANTE, DUAH; K. 1998. Risk Assessment in Environmental Management. Ed. John Wiley e Sons. USA. 515 p.
- BARNHOUSE, L. W.; SUTER, G. W.; BARTELL, S. M.; BEAUCHAMP, J. J.; GARDNER, R. H.; LINDER, E.; O'NEILL R. V.; ROSEN, E. A. E.. 1986. Usserts Manual for Ecological Risk Assessment. Publication No. 2679, ORNL-6251. Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- COWAN, C.E.; VERSTEEG, D. J.; LARSON, R. J.; KLOPPER-SAMS, E P. 1995. Integrated approach for environmental assessment of new and existing substances. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 21 :3-31.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N; KOPKE, V. 1990. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo/DT. Ges.für Techn. Zusammenarbeit (GT7) GmbH, Eschborn. Sonderpublikation der GTZ. ng 245. 171 p.
- EPA. 1992. Framework for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R-92/001. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC.
- FAO. 1989. Revised Guidelines on environmental criteria for the registration of pesticides. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, December, 1989 p 51.
- FELTON, J. C., OOMEN, P. A.; STEPHENSON, E J. H. 1986. Toxicity and hazard of pesticides to honeybees: Harmonization of test methods. *Bee World*, 67:114-124.
- FOLONI, L.L. 1997. Siembra directa y su impacto sobre el medio ambiente. In: Curso sobre siembra directa. Min. Agricultura e Ganaderia, Sub. Est. Agr. Dir. Inv. Agrícola Procisur. Centro Regional de Investigación Agrícola (CRIA). Itapua. Paraguay Coord. L.Q. Viedma. p. 147 e 174.
- GANZELMEIER, H.; RAUTMANN, D.; SPANGENBERG, R; STRELOKE, M.; WENZELBURGER, H.J.; WALTER, H.F. 1995. Studies on the spray drift of plant protection products. Heft. 305. Blakwell Wissenschafts-verlag. GmbH Berlin?Wien. Berlin, 112 p.
- GASSEN, D.N. 1995. Novos conhecimentos sobre manejo de pragas em lavouras sob sistemas de Plantio direto. In: Diálogo XLIV. Avances em Siembra directa. idem.
- GUSTAFSON, D. I. 1988. Groundwater Ubiquity Score: A simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 8:339-357.
- HARWELL, M. A.; COOPER, W.; FLAAK, E R. 1992. Prioritizing ecological and human welfare risks from environmental stresses. *Environmental Management*, 16: 451-464.
- MULLINS, J. A., R. F. CARSEL, J. E. SCARBROYGH and IVERY, A. M.. 1993. PRZM-2 A Model for Predicting Pesticide Fate in the Crop Root and Unsaturated Soil Zones: Program and User Manual for Release 2.0. EPA/600/R-93/046, Environmental Research Laboratory. Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.
- NABHOLZ, J. V. 199t. Environmental hazard and risk assessment under the United States Toxic Substances Control Act. *Science of the Total Environment*, 109/110:649-665.

- NRC. 1993. Issues in Risk Assessment. National Research Council. National Academy Press, Washington, DC.
- PERAZZA, M.C.; BIRRAQUE, M.J.; LINK, V.R.; QUEIROZ, M.H.L. Estudo Analítico de Metodologias de avaliação de impacto ambiental. Ministério da Agricultura EMBRAPA/CNPDA. In: Curso de Metodologia de Avaliação de Impacto Ambiental S/D. 12p.
- RAND, G.M.; 1989. An Environmental Risk Assessment of Pesticide. In: The Risk Assesment of Environmental hazards. Ed. D.J. Pautenbach. Joyhn Wiley & Sons. N. York.
- REIS, E.M. 1995. Manejo de doenças em plantio direto. In: Dialogo XLIV - Avances en Siembra Directa. Ed. Juan P. Puignau y Coed. Héctor Causarano y José Schwartzman. Montevideo. IICA. Procisur; 204 p.
- ROMBKE, J., FORSTER, B.W., DERPSCH, R, HOSCHLE-ZELEDON, I, FOLONI, L. L.; 1997. Soil Quality Assessment in remote areas: an example from two siter in Paraguay, (no prelo).
- SANTOS, P.F. 1984. O meio ambiente e os defensivos agrícolas: Avaliação de impacto. In: Anais do I Seminário sobre o uso adequado de defensivos Agrícolas no Distrito Federal EMATER - S.A.P.G.D.F. - ANDEF. 65 p.
- SETAC. 1995. Ecotoxicological risk assessment of the chlorinated organic chemicais. Carey, J., P. Cook, J. Giesy, P. Hodson, D. Muir, W. Owens, R. Parrish e K. Solomon. (Eds). SETAC Foundation for Education, Pensacola, FL. Em edição.
- _____. 1994. Report of the Aquatic Risk Assessment and Mitigation Dialogue Group. Eds: Graney, R. L., A. Maciorowski, K. R. Solomon, H. Nelson, D. Laskowski e J L. Baker. SETAC Foundation for Education, Pensacola, FL.1994.
- _____. 1995. Procedures for assessing the environmental fate and ecotoxicology of pesticides. Ed. M. R. Lynch. SETAC Brussels, March 1995.
- SNEDEL, B. C.; BORACZEK, J. A.; PEDDICORD, R. K.; CLIFFORD, P. A.; DILLON, E. T. M. 1994. Trophic transfer and biomagnification potential of contaminants in aquatic ecosystems. Rev. Env. Contam. Toxic.136:21-89.
- SOLOMON, K. R.; BAKER, D. B.; RICHARDS, P.; DIXON, K. R.; KLAINE, S. J.; EA POINT, T. W.; KENDALL, R. J.; GIDDINGS, J. M.; GIESY, J. P.; HALL, L. W. Jr.; WEISSKOPF, C. P.; WILLIAMS, E. M.1966. Ecological risk assessment of atrazine in North American surface waters. Environmental Toxicology and Chemistry,15:31-76.
- SOLOMON, K.R. 1996. Advanced Toxicological Ha7ar and risk Assessment for pesticides in the Environment. Notes. University of Guelph. 65 p.
- SULECKI, J.C. 1999. Global Agriculture At A Glance. (Ed.), Farm Chemicals International, Nov., Vol 13, num. 4
- U.S.D.A. SCS. 1992. Grounwater loading effects of agricultural r"anagement systems (GLEAMS) model, Version 2.10. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Section, Washington, DC
- URBAN, D. J. E N. J. COOK. 1986. Standard Evaluation Procedure for Ecological Risk Assessment. EPA/540/09-86/167, Hazard Evaluation Division, Office of Pesticide Programs, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Impacto ambiental de sistemas intensivos de produção de grãos e de carne bovina na região oeste do Brasil

por Julio César Salton *; Amoacy Carvalho Fabrício *; Luis Armando Zago Machado *; Geraldo Melo Filho *; Mario Artemio Urchei *; Henrique Oliveira*; Dirceu Luis Broch **; Pedro Luis Freitas ***; R Mara Mussury ****; Alceu Richetti

Resumo

Com o objetivo de estudar o impacto ambiental de sistemas intensivos de produção de grãos e de carne bovina, foi iniciado em 1996 um projeto de pesquisa na Embrapa Agropecuária Oeste em Dourados, MS, Brazil. Os sistemas de produção são os seguintes: a) sucessão de soja/aveia em preparo convencional, b) Sistema Plantio Direto – soja/soja/milho, c) Rotação soja pastagem em plantio Direto e d) pastagem contínua. O projeto está baseado em um modelo físico, em uma área de 28 hectares, onde são avaliados através de amostragem georeferenciadas, atributos de solo nas profundidades 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm (teor de nutrientes e de matéria orgânica, estabilidade de agregados, dinâmica da água, diversidade biológica) atributos de plantas (rendimento de grãos e de matéria seca), além do rendimento de carne bovina e o desempenho econômico dos diferentes sistemas. Para a condução do trabalho verificou-se a necessidade de perfeita integração e multidisciplinaridade da equipe de pesquisadores. Paralelamente está sendo desenvolvido um monitoramento de fazendas que utilizam os sistemas, para fim de validação dos resultados e transferência aos agricultores. Os resultados preliminares permitem indicar maiores rendimentos econômicos no Sistema Plantio Direto, com rotação de culturas e com pastagem, além do que, estes tem apresentado melhorias em atributos do solo.

Introdução

O Oeste do Brasil caracteriza-se por constituir-se de importantes ecossistemas, como o Cerrado e o Pantanal Mato-grossense, e ser a cabeceira de algumas das principais bacias hidrográficas como a dos rios Paraguai-Paraná para a direção sul e dos rios Xingu, Araguaia e Tapajós para o norte. Além da importância ecológica e estratégica para o continente, tem apresentado crescente produção de alimentos e fibras com a incorporação de extensas áreas para a agricultura.

A economia do Oeste do Brasil está baseada na agricultura, com cerca de 4 milhões de hectares cultivados principalmente com soja, milho, arroz e algodão e na pecuária de corte extensiva, com mais de 40 milhões de hectares de pastagens cultivadas predominantemente com espécies do gênero *Brachiaria* e um rebanho bovino superior a 22 milhões de cabeças. Em geral estes sistemas de produção apresentam baixos índices de eficiência e crescentes taxas de degradação dos solos e redução do potencial produtivo. Tais processos são decorrentes do manejo incorreto dos solos, caracterizado pelo preparo excessivo, monocultivo, ausência de práticas conservacionistas, mau

* Embrapa Agropecuária Oeste. E-mail: salton@cpao.embrapa.br; amoacy@cpao.embrapa.br; geraldo@cpao.embrapa.br; urchei@cpao.embrapa.br; sac@cpac.embrapa.br

** Fundação MS

*** Embrapa Solos. E-mail: pfreitas@persogo.com.br

**** Unigran

gerenciamento do uso do solo e de insumos (adubos, corretivos, agroquímicos, etc.). Como resultado temos a perda de matéria orgânica do solo, redução nas taxas de infiltração e retenção de água e redução da eficiência de suprimento de nutrientes às plantas cultivadas, com graves conseqüências ao ambiente externo, pela contaminação das fontes de água e alimentos, redução na oferta de alimentos, redução na atividade econômica regional e em conseqüência da qualidade de vida da população.

Foram caracterizados como sistemas representativos da agropecuária regional: a) Sistema de agricultura convencional - que consiste no cultivo de soja no verão e de aveia ou milho no outono/inverno sendo o solo preparado com o uso de grades de disco, utilização de herbicidas residuais em pré-emergência; b) Pastagem contínua - implantada após alguns anos de agricultura com espécie do gênero *Bachiaria* (*B. decumbens*).

A pesquisa tem apontado diversas tecnologias que podem compor sistemas alternativos para a região, de forma a permitir produção intensiva com menores impactos ao ambiente, especialmente com a utilização do plantio direto, cuja estimativa atual de adoção é de 3,5 milhões de hectares na região dos Cerrados (Saturnino & Landers, 1997), rotação de culturas e a integração de agricultura com pastagens, prática de uso crescente na região.

Dentre as várias opções possíveis, optou-se por avaliar conjuntamente aos sistemas predominantes na região, aqueles que apresentam maior factibilidade e resultados positivos já obtidos na região, sendo: c) Sistema Plantio Direto - Agricultura em plantio direto, com rotação de culturas, tendo como culturas de verão a seqüência soja/soja/milho, intercalada com aveia/trigo/nabo durante o outono/inverno e milheto na primavera. Estas espécies são utilizadas para produção de grãos (trigo e aveia) e para produção de palha (nabo e milheto), havendo em todos os anos duas parcelas com soja e uma com milho. Neste sistema são empregadas herbicidas pós-emergentes e todas as tecnologias disponíveis para a região, como Manejo Integrado de Pragas, visando obter elevados rendimentos de grãos e reduzir as perdas do sistema; e d) Sistema com integração lavoura/pastagem - através da rotação de soja com pastagem, conduzido em plantio direto e utilizando pastagens temporárias de aveia, milheto em sucessão à soja. Cada ciclo de rotação é de dois anos, sendo a pastagem de *Brachiaria* dessecada com herbicida e implantada a soja em plantio direto, após dois anos é efetuada nova semeadura da pastagem. A implantação da soja após a pastagem é efetuada em plantio direto com a dessecação da braquiária com herbicidas. A implantação da pastagem após as culturas será efetuada com semeadura consorciada com milheto no início do verão. Os animais (bovinos cruzados zebu x raça européia) manejados adequadamente em pastejo rotacionado, sem suplementação no período da seca, com toda as recomendações técnicas sanitárias.

Metodología

Para a avaliação dos sistemas predominantes e de outros incorporando novas tecnologias, quanto aos impactos ambientais, desenvolveu-se um projeto de pesquisa visando de descrever e quantificar as principais formas de impactos ao ambiente. Desta forma espera-se recomendar e promover a adoção dos sistemas pelos agricultores, possibilitando a intervenção no momento correto, antes da ocorrência de alterações de difícil reversibilidade serem processadas. A proposta do presente estudo foi inicialmente discutida em um workshop com a participação da equipe local, consultores externos e pesquisadores convidados, que discutiram o problema e propuseram uma metodologia de trabalho, incluindo a elaboração de um modelo conceitual do "sistema de produção", para reduzir as divergências conceituais sobre o tema (Embrapa, 1996). O modelo conceitual adotado encontra-se na Figura 1, no qual o sistema de produção é considerado como uma fazenda e os componentes das diferentes etapas dos diversos processos

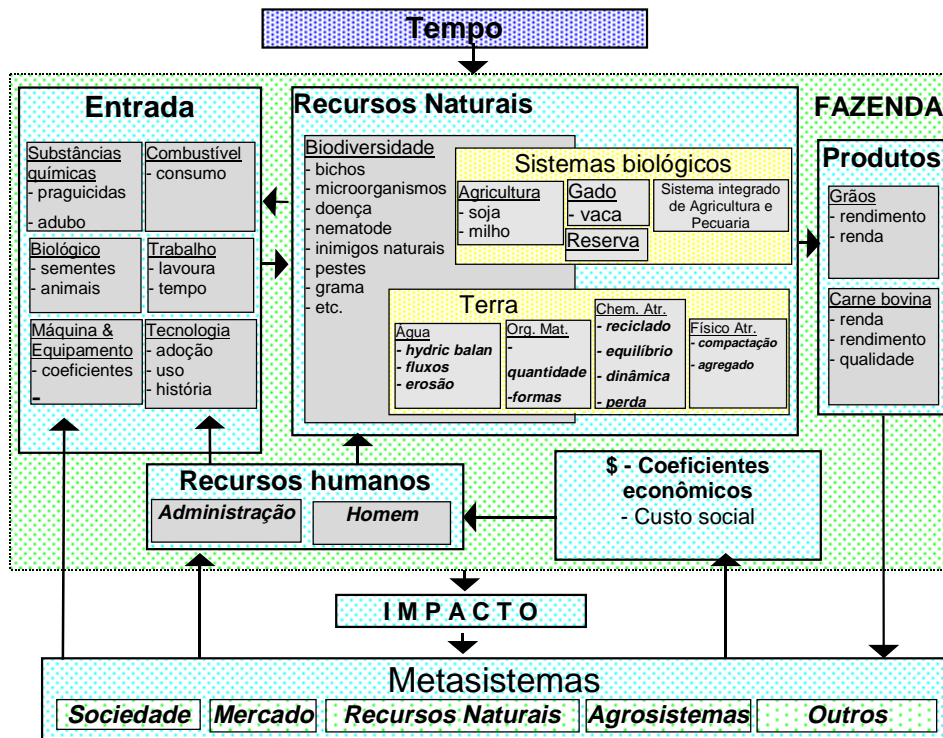


Figura 1 - Modelo conceitual de um sistema de produção agrícola em uma fazenda, com detalhes dos subsistemas, que apresenta os componentes e suas relações.

foram agrupados em classes principais, e suas relações entre si e com os sistemas externos à fazenda (metasistemas), constituem-se nos focos de estudo. Devido a complexidade e diversidade das relações encontradas, selecionou-se algumas das quais para o serem monitoradas.

Para a execução desta tarefa é necessário dispor de informações precisas, amostragens contínuas de longo prazo, utilizar diversas metodologias, participação multidisciplinar, etc. Por estas razões optou-se por estabelecer um modelo físico dos quatro sistemas de produção descritos anteriormente, sendo considerados para fins de análise comparativa, como cada um uma "fazenda". Como tal, apresenta os diversos níveis de interações de seus componentes, o que procura-se monitorar e, após um determinado período de tempo, avaliar e comparar.

Os resultados obtidos estão sendo validados junto a fazendas da região e divulgados para a assistência técnica e agricultores.

O "modelo físico reduzido", está localizado na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS Brazil. O solo do local é um Latossolo Roxo epitrófico (Hapludox) a área ocupada pelo modelo é de cerca de 28 hectares e foi dividida de modo a representar os quatro sistemas de produção. A área a ser ocupada pelos diferentes sistemas de produção corresponde a 2 ha para o Sistema Convencional e 6 ha para o Sistema Plantio Direto divididos em três talhões de 2 ha cada. O Sistema com Integração Agropecuária ocupa 8 ha de área, subdividida em duas partes de 4 ha, de forma a conter as seqüências soja/pastagem e pastagem/soja no mesmo momento. O sistema Pastagem Contínua ocupa área de aproximadamente 10ha.

Para permitir o uso de técnicas de geoestatística e de GIS foi estabelecido um plano de amostragem obedecendo um grid previamente definido, com intervalo entre os pontos

de 30m, sendo os pontos de amostragem permanentes e georeferenciados com uso de GPS. O croqui do modelo contendo a localização espacial dos sistemas de produção e o plano de amostragem encontra-se na Figura 2.

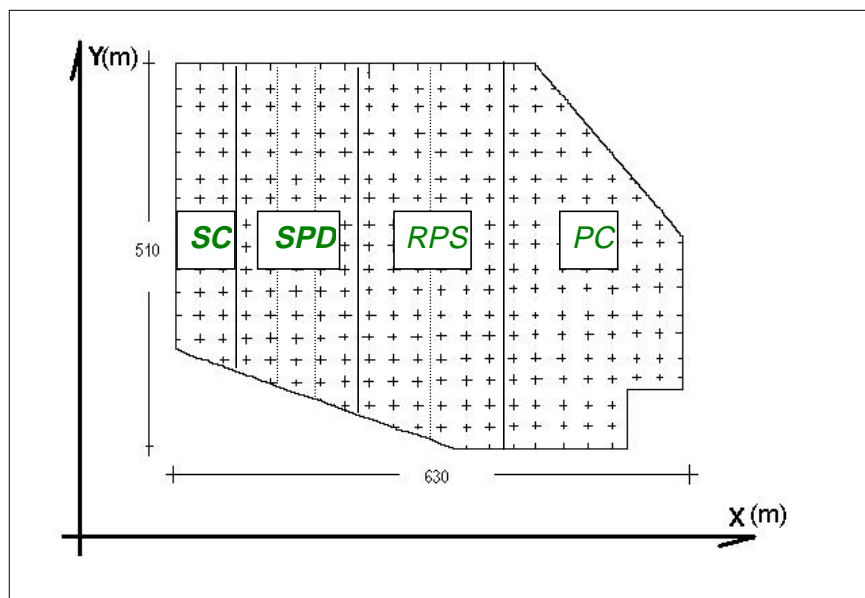


Figura 2 - Plano de amostra do modelo físico que compõe grade com intervalo de 30m e localização de sistemas onde SC: sistema convencional, SPD: sistema plantio direto, RPS: rotação de pastagens e soja, e PC: pastagens contínua. Embrapa, Dourados, MS, Brasil.

No momento da implantação dos sistemas de produção no modelo físico foram realizadas em todos os pontos do grid coleta de amostras para determinações físicas e químicas do solo, as quais servem como padrão de referência para comparações com amostragens posteriores.

Resultados

Das várias interações entre os componentes do modelo conceitual alguns destes estão sendo estudados para quantificação de seus efeitos e seus impactos sobre a “fazenda” e conseqüentemente na sustentabilidade dos sistema de produção. A seguir serão comentados alguns dos resultados obtidos até o momento.

Atributos físicos do solo

Avaliou-se a magnitude da variabilidade de alguns atributos físicos do solo, nos sistemas de manejo Preparo Convencional (PC), Plantio Direto (PD) e Integração Agricultura-Pecuária (IAP). Em 1997, foram abertas em cada sistema, 70 trincheiras de 0,30 x 0,60 x 0,30m para coleta de amostras indeformadas na camada de 0,13-0,17m. Foram determinadas a densidade do solo (d_s), a macroporosidade (Ma), a microporosidade (Mi), a porosidade total (PT) e a umidade à base de massa, nas tensões de 10 (Ucc) e 1500 kPa (Upm).

As amostras foram retiradas obedecendo um sistema em grade de dez linhas e sete colunas, espaçadas de 5,0m. Pela análise descritiva inicial (Tabela 1) e de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov, apenas os dados de Mi e Upm, no sistema PD, não se ajustaram à distribuição normal ($D^30,16$). Os dados dos demais atributos, de acordo com o referido teste, distribuíram-se normalmente. Exceto para a Ma, que teve média variabilidade ($16,8 \leq CV \leq 26,4$), os demais atributos, nos três sistemas de manejo, apresentaram baixa variabilidade ($CV \leq 5,1$). De maneira geral, os atributos físicos

analisados apresentaram maior variabilidade no sistema PD, vindo a seguir o sistema IAP e por último o PC.

Nessa primeira avaliação, os dados da Tabela 1 evidenciam também que os efeitos dos sistemas de preparo nos atributos físicos avaliados ainda são pequenos, verificando-se apenas menor densidade do solo ($1,32 \text{ kg dm}^{-3}$) no sistema IAP e uma tendência à diminuição da Ma no sistema PD, com resultados semelhantes para os demais atributos.

Também foram realizadas a coleta de amostras de solo para determinação da estabilidade de agregados do solo sendo a amostragem inicial quando da implantação do modelo físico.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas dos dados da densidade do solo (d_s), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (PT) e umidade para a base de massa para 10 kPa (Ucc) e para 1500 kPa (Upm) em três sistemas de produção.

Attribute	Média	Mediano	VC*	Minimun	Máximo	Quarto		Assimetria	Curtosis	D**
						Inferior	Superior			
Sistema Convencional										
d_s (kg dm^{-3})	1.37	1.37	3.4	1.22	1.44	1.34	1.41	-0.78	0.96	0.07
Ma ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0.12	0.12	16.8	0.07	0.18	0.11	0.13	0.16	0.72	0.08
Mi ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0.43	0.43	3.9	0.38	0.48	0.42	0.44	0.34	1.78	0.11
PT ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0.55	0.55	3.2	0.49	0.58	0.54	0.56	-0.46	0.32	0.07
Ucc (kg kg^{-1})	0.29	0.29	2.8	0.28	0.31	0.29	0.30	0.76	0.28	0.11
Upm (kg kg^{-1})	0.24	0.24	3.5	0.22	0.27	0.24	0.25	0.61	1.28	0.11
Sistema Plantio Direto										
d_s (kg dm^{-3})	1.41	1.42	3.6	1.26	1.52	1.38	1.44	-0.36	0.28	0.07
Ma ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0.09	0.09	26.4	0.04	0.14	0.08	0.11	-0.02	-0.18	0.08
Mi ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0.42	0.42	5.1	0.39	0.50	0.41	0.43	1.70	2.96	0.24
PT ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0.52	0.52	4.4	0.46	0.56	0.50	0.53	-0.36	-0.55	0.12
Ucc (kg kg^{-1})	0.30	0.30	3.4	0.28	0.33	0.29	0.30	0.94	1.36	0.10
Upm (kg kg^{-1})	0.26	0.26	4.7	0.19	0.29	0.25	0.26	-1.94	14.15	0.16
Rotação de Pastagens e Soja										
d_s (kg dm^{-3})	1.32	1.33	3.8	1.20	1.44	1.29	1.36	-0.20	-0.32	0.08
Ma ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0.12	0.12	20.8	0.07	0.18	0.10	0.14	0.06	-0.49	0.06
Mi ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0.42	0.42	2.6	0.40	0.45	0.42	0.43	0.01	-0.10	0.07
PT ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0.55	0.55	4.6	0.49	0.60	0.53	0.56	-0.01	-0.26	0.09
Ucc (kg kg^{-1})	0.32	0.32	3.1	0.30	0.35	0.31	0.32	0.31	0.18	0.05
Upm (kg kg^{-1})	0.28	0.28	4.2	0.26	0.31	0.27	0.29	0.20	-0.12	0.07

* Coeficiente de variação (%).

** Valores de divergência de máximo do teste de Kolmogorov-Smirnov para distribuição normal. O nível crítico em 5% de significação é 0.16

Atributos químicos do solo

No estabelecimento dos sistemas de produção foram coletadas amostras de solo, nas profundidades 0-5, 5-15 e 15-30cm, obedecendo a grade preestabelecida, resultando em 280 pontos de amostragem e 900 amostras que foram analisadas quanto aos parâmetros pH, Al, Ca, Mg, K, P, C e H+Al.

Após um período de três anos repetiu-se a amostragem para monitorar e quantificar as alterações em tais atributos decorrentes da condução dos diferentes sistemas. Evidenciou-se a variabilidade espacial dos atributos que são diretamente influenciados pelo cultivo, como o uso de adubação fosfatada que é empregada para as culturas produtoras de grãos. Espera-se com avaliações periódicas dos teores de elementos no solo, nos tecidos vegetais e das adubações realizadas, poder inferir sobre o balanço de nutrientes e apontar sistema mais eficiente quanto ao uso de insumos e capacidade de reciclar os nutrientes.

Como promissor indicador de sustentabilidade, apresenta-se o teor de matéria orgânica do solo, que no período de 1995/96 para 1998/99 alterou-se de forma significativa, demonstrando a capacidade que o uso de pastagens por algum período de tempo tem, em aumentar seu teor no solo (Rosello, 1992). Como resultado do uso do Sistema Plantio Direto pode-se prever o acréscimo no teor de matéria orgânica no solo, (Mielniczuk, 1993) contudo no período de avaliação não constatou-se ainda alterações muito expressivas, o que apresenta tendência de ocorrer com o passar do tempo. No sistema convencional, fica evidente como resultado da mobilização do solo com grades de discos, seu efeito na redução do teor (Figura 3).

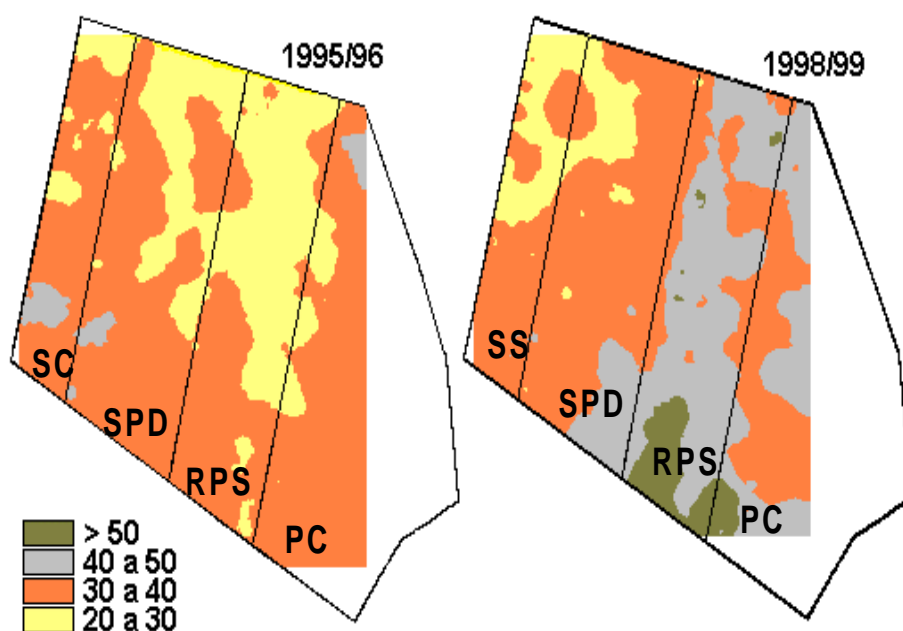


Figura 3. Distribuição espacial e temporal da matéria orgânica do solo (g.kg-1) nos sistemas de produção: SC (sistema convencional), SPD (sistema plantio direto), RPS (rotação de pastagens e soja) e PC (pastagens contínua), dos modelos físicos nos anos 1995/96 e 1998/99. Embrapa, Dourados, MS, Brasil.

Rendimento das culturas

A cada safra são avaliados o rendimento de massa seca dos restos culturais (Figura 4) e de grãos (Figura 5) de todas as espécies cultivadas, são realizadas amostras pontuais obedecendo a grade de pontos para amostragem, com os resultados ao longo dos anos será possível encontrar-se correlações com atributos do solo. Para fins de comparação entre espécies com diferentes potenciais de produção, os valores são transformados para porcentagem tomando o maior valor de cada safra e espécie como referência. Apesar da uniformidade da área e dos tratos culturais, verifica-se variabilidade espacial dos rendimentos.

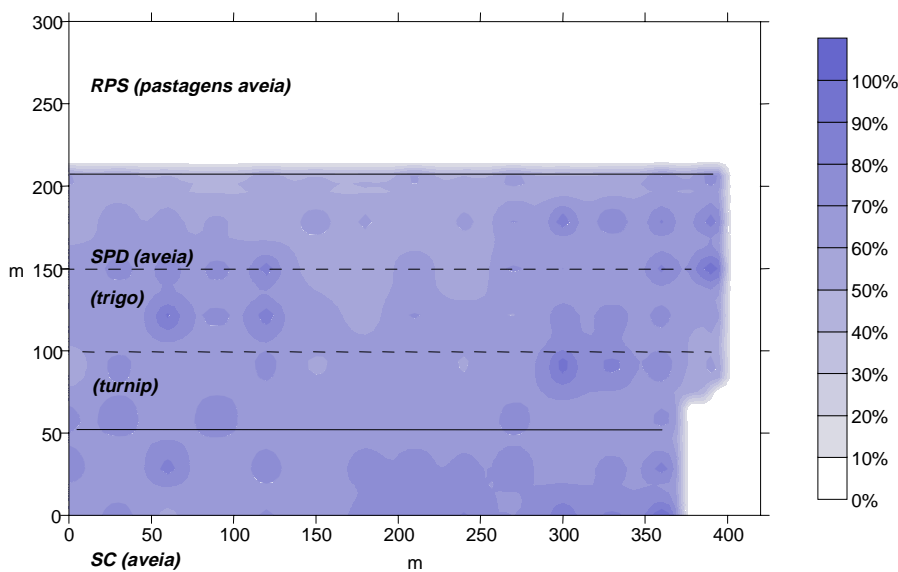
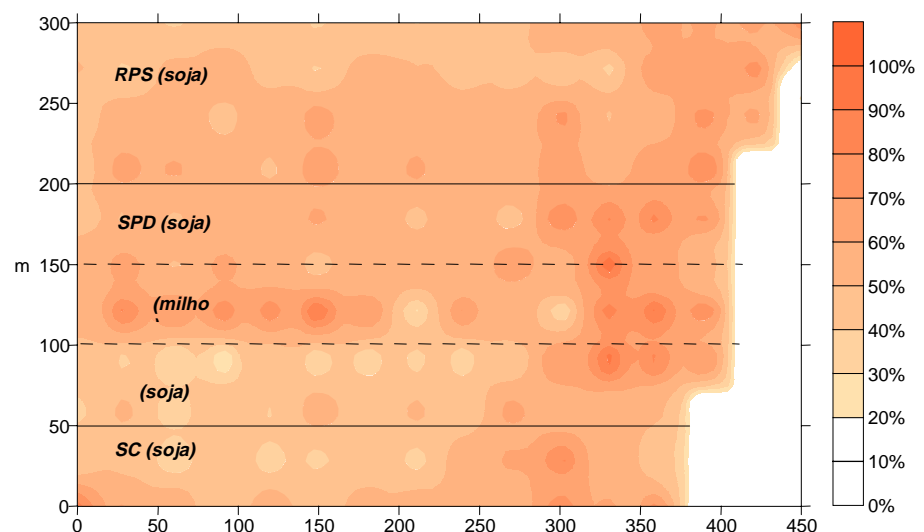


Figura 4. Distribuição espacial do rendimento relativo da matéria seca da cultura de inverno no ano 1997, nos sistemas de produção SC (sistema convencional), SPD (sistema plantio direto), RPS (rotação de pastagens e soja) e PC (pastagens contínua) do modelo físico. Embrapa, Dourados, MS, Brasil.

Figura 5. Distribuição espacial do rendimento relativo de soja e milho nos sistemas SPD (sistema plantio direto), SC (sistema convencional) e RPS (rotação de pastagens e soja) na colheita 1995/96. Embrapa, Dourados, MS, Brasil.



Avaliação da biodiversidade

Para obter-se informações quanto aos efeitos dos diferentes sistemas de cultivo na biodiversidade algumas avaliações estão sendo efetuadas e outras estão planejadas para serem realizadas oportunamente. Das informações já obtidas estão o número de indivíduos e espécies de insetos da parte aérea das plantas encontrados em amostragens mensais realizadas à campo com rede entomológica.

Os resultados obtidos ao longo de um período estão resumidos na Figura 6, na qual é possível verificar a ocorrência de um menor número de espécies nos sistemas Pastagem contínua e na Rotação soja - pastagem e ao longo do ano o número de espécies são determinadas pelos ciclos das culturas que atraem os insetos, verificou-se também que no sistema convencional, por haver uma alteração brusca decorrente do preparo do solo, há uma brusca queda no número de indivíduos após a colheita da soja, ocorrida no mês de abril de 1998.

Quanto aos organismos do solo, há um efeito mais definido dos sistemas propriamente e não das espécies, pois como verifica-se na Figura 7 os sistemas com pastagem (CP e SPR) temos a presença de maior número de organismos, um número intermediário no sistema Plantio direto e um menor número no sistema convencional. Tais resultados são os esperados e já relatados na bibliografia, como efeito da mobilização do solo por implementos e pela semeadura das culturas.

Produtividade animal e das pastagens

As áreas com pastagem de braquiária foram estabelecidas em novembro/95, sendo utilizada adubação apenas nas áreas de lavoura, não utilizando-se fertilizantes na implantação e manutenção das pastagens. Estas foram subdivididas em nove partes (piquetes) para facilitar seu manejo. Realizou-se determinações de disponibilidade e resíduo a cada 24 dias.

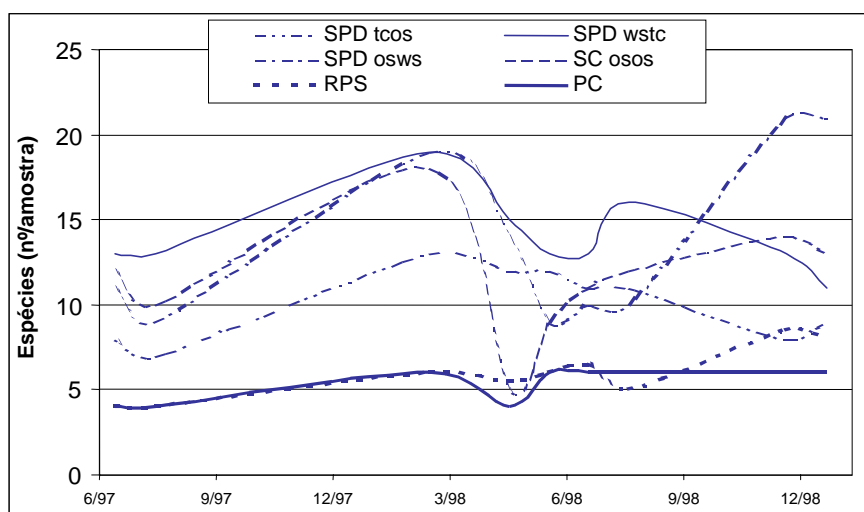


Figura 6. Variação temporal do número de espécies de insetos na parte aérea das plantas, presentes em diferentes sistemas de produção agrícola onde SPD: sistema plantio direto, SC: sistema convencional, RPS: rotação de pastagens e soja, PC: pastagens contínua, t:turnip, c: milho, o: aveia, s:soja, w:trigo. Dourados, MS, Brazil, 1999.

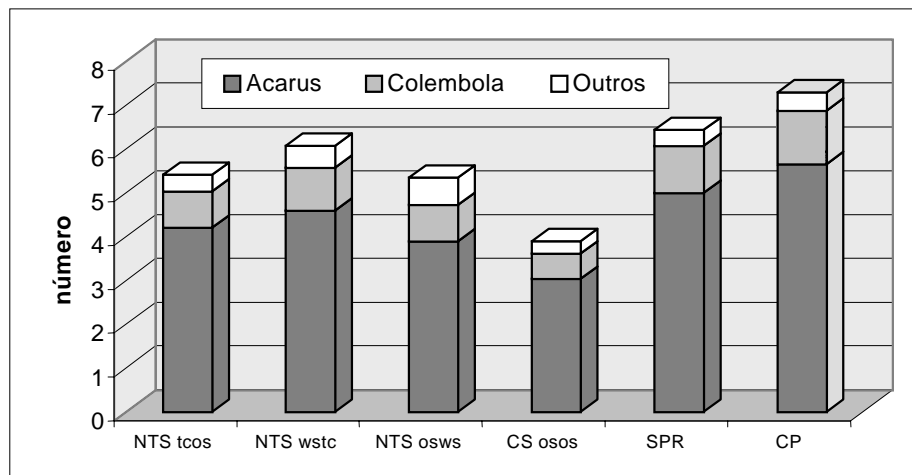


Figura 7. Número médio de organismos edáficos em sistemas de produção agrícola onde SPD: sistema plantio direto, SC: sistema convencional, RPS: rotação de pastagens e soja, PC: pastagens contínuas, t: nabo, c: milho, o: aveia, s: soja, w: trigo. Dourados, MS, Brazil, 1999.

A avaliação de animais foi realizada de setembro/98 a maio/99, utilizando-se animais cruzados, ½ sangue nelore x hereford, castrados, com idade no início e no final do período de avaliação de 12 e 19 meses, respectivamente.

O método de pastejo utilizado foi o rotativo com períodos de ocupação e descanso de 3 x 24 dias. Em cada período foi determinado a disponibilidade e o resíduo de forragem e com base nestes resultados, quando necessário, foi ajustada a carga animal (kg/ha de peso vivo). O nível de oferta de matéria seca com base nas lâminas de folhas verdes foi de 7% (7 kg DM/100 kg LW/day).

Em ambos sistemas a disponibilidade de forragem foi mais alta no início do período de avaliação. Isto se deve ao fato das áreas terem sido vedadas ao pastejo nos meses de junho, julho e agosto e por não ter ocorrido geadas neste período (Figura 8). A disponibilidade média de matéria seca de lâminas de folhas verdes no início de cada período de pastejo foi maior no sistema envolvendo rotação agricultura/pecuária em relação ao sistema braquiária permanente (Tabela 2).

Apesar da disponibilidade no sistema Pastagem Contínua ter sido mais baixa, esta ainda foi alta para esta espécie de pastagem. Tal valor foi decorrente do manejo da pastagem, com os ajustes da carga animal à disponibilidade de forragem, mantendo uma pressão de pastejo adequada. Desta forma, permitiu-se que os animais consumissem grande quantidade de forragem, que pode ser comprovado pela taxa de desaparecimento.

Este manejo determinou elevado ganho médio diário e ganho/ha. Tanto o ganho por animal como por hectare foi maior no Sistema SPR braquiária na rotação agricultura/pecuária (Tabela 2), permitindo assim que os animais que permaneceram neste sistema atingissem o peso médio exigido pelo frigorífico para abate antes da estação seca, o que resulta em maior valor de venda e conseqüentemente maior margem financeira a este sistema.

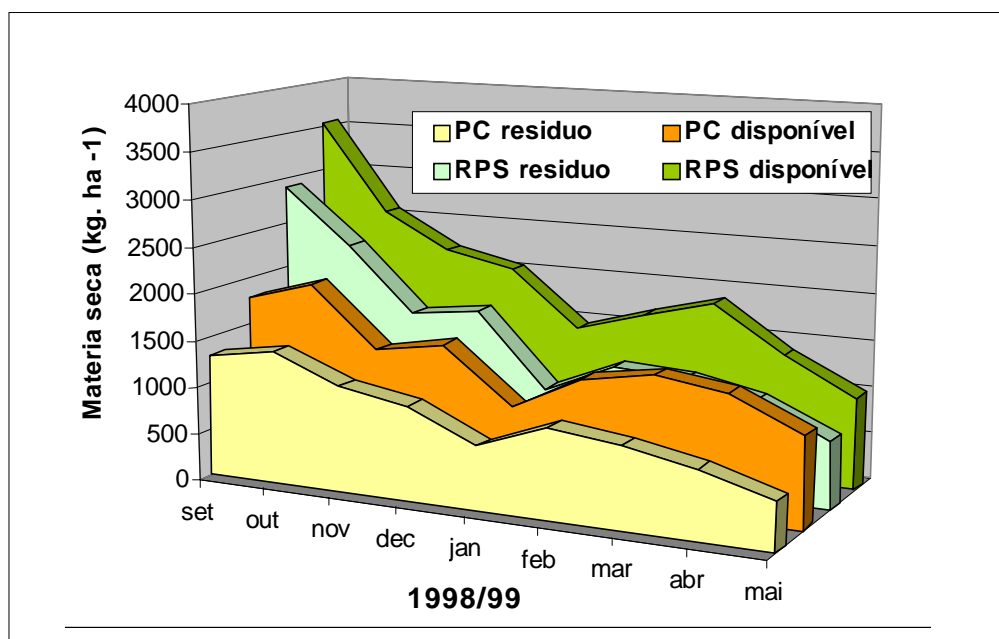


Figura 8 – Disponibilidade e resíduo em matéria seca, em folhas de pastagem de *Brachiaria decumbens*, média mensal do período de setembro/1998 a maio/1999 (PC: pastagem contínua, RPS: rotação de pastagem e soja) Embrapa, Dourado MS, Brasil, 1999.

Tabela 2 - Parâmetros de desempenho do pasto e de bovino nos sistemas de a) pastagens contínua (PC) e b) rotação de pastagens e soja (RPS). Embrapa. Dourados, MS, Brasil. 1999.

Sistemas	Matéria seca disponível para lâmina de folha		Taxa de desaparecimento da MS das folhas *	Taxa de desaparecimento da MS total das folhas **	Peso vivo inicial	Peso vivo final	Ganho / animal	Ganho diário de peso vivo	Meia de peso vivo carried	Ganho / ha
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	%	kg	kg	kg	kg	kg	kg
PC	1463	1002	2.36	3.07	255.8	446.8	191.0	0.749	970	498
RPS	1960	1537	1.87	3.08	255.8	463.4	207.6	0.814	1058	583

* Kg de matéria seca de folhas verdes desaparecidas por dia cada 100 kg de peso vivo carried.

** Kg de forragem (matéria seca de folha e talos) desaparecidas por dia cada 100 kg de peso vivo carried.

Avaliação econômica

São computados todos os custos de produção bem como todas as receitas, para fins de efetuar o acompanhamento econômico dos diferentes sistemas. Como proposta do trabalho de inferir quanto a sustentabilidade dos sistemas, não pode ser efetuada análise do desempenho econômico de uma safra ou de um ano, mas é preciso termos o acompanhamento ao longo de um período de tempo, pois os preços dos produtos agrícolas apresentam grande variabilidade temporal em função dos mercados regionais e internacionais. Pretende-se obter dados para determinar os custos sociais da produção de grãos e carne nos diferentes sistemas. Todos os sistemas tem apresentados

resultados econômicos satisfatórios nas safras estudadas, especialmente o de rotação soja- pastagem.

Outras avaliações

Também estão sendo avaliados: a dinâmica da água no solo através de amostragens com sonda de neutrons, tensiômetros, permeâmetro e determinações gravimétricas; a atividade microbiológica do solo através da determinação da taxa de evolução do carbono e biomassa microbiana. Também estão previstas avaliações da ocorrência e distribuição de plantas daninhas, nematóides do solo e a caracterização do carbono orgânico total e substâncias húmicas do solo conforme Bayer (1996).

Como resultados obtidos até o presente momento além do grande e valioso acervo de dados, temos a confirmação da complexidade da avaliação de sistemas de produção, a necessidade de interação entre os membros da equipe multidisciplinar. Para organizar e permitir maiores inferências sobre o desempenho dos sistemas de produção está sendo montado um banco de dados. Tais informações poderão serem úteis na alimentação e na atualização de modelos matemáticos de simulação já existentes, possibilitando com isto, validar os resultados para outras regiões.

Literatura citada

- WORKSHOP SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1996, Dourados. Relatório. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1996. 57P. (EMBRAPA-CPAO. Documentos,9).
- SATURNINO,H.M.; LANDERS,J. O meio ambiente e o Plantio Direto. Goiânia: APDC, 1997.116p.
- BAYER,C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo do solo. Porto Alegre. Departamento de Solos, UFRGS. 1996. 240p. (Tese de Doutorado).
- ROSELLO,R.D. Evolucion de la materia organica en rotaciones de cultivos com pasturas. Revista INIA de investigaciones agronomicas, Montevideo, nº 1, Diciembre,1992 (b). Tomo 1 p. 104-110.
- MIELNICZUK,J. Potencialidade e perspectivas do uso de culturas de cobertura e rotações de culturas como prática de conservação do solo. **In.:** Reunião Brasileira de manejo e conservação do solo e da água.10, Resumos, Florianópolis, SBCS. 1994, p.101-104.



Secuestro de carbono atmosférico: ¿un nuevo ingreso para los agricultores del Cono Sur?

por Daniel L. Martino*

La masiva adopción de la siembra directa en los países del Cono Sur, impulsada por las indiscutibles ventajas económicas de este sistema, puede resultar además en diversos beneficios ambientales (Martino, 1994). Los desarrollos en materia de valoración económica de esos beneficios y la creación de los necesarios mecanismos de mercado podrán permitir generar nuevos ingresos a los agricultores a través de la venta de servicios ambientales.

La forma más inmediata de esta novedosa fuente de ingresos parecería ser la venta del servicio de secuestro de carbono. La concreción de esta posibilidad dependerá de decisiones políticas tanto de los gobiernos como de la comunidad de naciones. Este artículo aporta un análisis de los fundamentos científicos de la creación de los “certificados de carbono” como nueva *commodity*, y del complejo camino de las negociaciones internacionales, el cual podrá conducir hacia la consolidación de un mercado con participación de los productores agrícolas.

El cambio climático

La acumulación de ciertos gases (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, CFCs) en la atmósfera como consecuencia de las actividades del hombre (quema de combustibles fósiles, deforestación, agricultura) es la causa del llamado “efecto invernadero”.

Se espera que el “efecto invernadero” se espera cause un incremento en la temperatura del aire. La temperatura media de la atmósfera aumentó en 0,5 °C en el siglo XX. Stott et al. (2000) demostraron que dicho calentamiento ha sido causado por las actividades humanas, principalmente quema de combustibles fósiles y deforestación. Los modelos de simulación pronostican que, de no tomarse medidas para el combate del cambio climático, la temperatura media de la atmósfera será de 1,5 a 5 °C superior a la actual. Las consecuencias de este calentamiento podrían ser múltiples e insospechadas: invasión de zonas costeras por los océanos (hay países que pueden desaparecer bajo las aguas), diseminación de enfermedades infecciosas, mayor incidencia de sequías en los trópicos, disminución de la productividad agrícola, y mayor frecuencia de desastres naturales, entre otras.

* Ing. Agr., Ph.D., Grupo de Riego, Agroclima, Ambiente y Agricultura Satelital (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay. E-mail: martino@inia.org.uy

Los acuerdos internacionales

El cambio climático es un fenómeno global, tanto en sus orígenes como en sus consecuencias. La emisión de un gas en cualquier punto de la Tierra aumenta la concentración de ese gas en toda la atmósfera igualmente. Por consiguiente, es un problema que requiere soluciones globales.

La Cumbre Ambiental de Río de Janeiro de 1992 declaró al cambio climático como uno de los tres grandes problemas ambientales de naturaleza global, junto a la pérdida de biodiversidad y al adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico. Ello derivó en la conformación del Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). Los países de la región adoptaron este convenio en 1994.

El Convenio Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático

El CMNUCC es el único instrumento legal vigente a nivel internacional¹. Los siguientes son sus aspectos más relevantes:

1. **Su objetivo central es “lograr la estabilización de la concentración de gases** con efecto invernadero en la atmósfera en un nivel que evite peligrosas interferencias de las actividades humanas con el sistema climático”.
2. **“Principio precautorio”**: determina que la falta de certeza científica no puede utilizarse como excusa para posponer las acciones cuando hay amenaza de un daño serio e irreversible.
3. **“Principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas”**: asigna a los países más desarrollados el rol central en el combate del cambio climático.
4. Otros principios: establecen las necesidades especiales de los países en vías de desarrollo, y la importancia de promover el desarrollo sostenible.
5. **Todos los países aceptan una serie de obligaciones generales**: desarrollar y remitir “comunicaciones nacionales” conteniendo los inventarios de emisiones de gases con efecto invernadero; adoptar programas nacionales para mitigar el cambio climático y adaptarse a sus impactos; promover la transferencia de tecnología entre países y el “manejo sostenible, la conservación y la mejora de los sumideros y reservas de carbono (bosques, suelos)”; considerar al cambio climático en sus políticas ambientales, sociales y económicas; cooperar en asuntos técnicos, científicos y educacionales.
6. **Los países más desarrollados (incluidos en el Anexo I) asumen obligaciones específicas**: adoptar políticas y medidas dirigidas a retornar en el año 2000 al nivel de emisiones que tenían en 1990; remitir comunicaciones nacionales detallando sus estrategias para combatir el cambio climático.
(NOTA: sólo dos países cumplieron con este cometido de tener en el 2000 las mismas emisiones que en 1990).
7. **Los países desarrollados más ricos (incluidos en el Anexo II) suministrarán recursos “nuevos y adicionales” y facilitarán la transferencia de tecnología.**

¹ El texto completo del Convenio se encuentra en <http://www.unfccc.de>

Estos países (miembros de la OCDE) financiarán todos los costos de las comunicaciones nacionales de los países en desarrollo con fondos nuevos y adicionales; también financiarán otros proyectos relacionados con la Convención, incluyendo la transferencia de tecnologías ambientalmente amigables. El Convenio reconoce que el cumplimiento de las obligaciones de los países en desarrollo depende de la asistencia financiera y tecnológica de los países desarrollados.

8. **El cuerpo supremo del Convenio es la Conferencia de las Partes (COP)**, integrada por los más de 170 países que ratificaron el Convenio. La COP en su tercer encuentro anual (COP-3) adoptó en Kyoto, Japón, el Protocolo de Kyoto.
9. **El Convenio tiene dos órganos subsidiarios:** el Organismo Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (SBSTA) y el Organismo Subsidiario de Implementación (SBI).
10. **Establece un mecanismo financiero en base a donaciones.** La operación de este mecanismo fue confiada al GEF (Global Environmental Facility) hasta noviembre 2000.
11. La COP y los órganos subsidiarios son servidos por una **Secretaría**, con sede en Bonn, Alemania.

El Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto, adoptado por consenso en la COP-3 en diciembre de 1997, reglamenta la acción de los países frente al cambio climático. Sus principales aspectos son:

1. **Los países desarrollados (Anexo I del Convenio) se obligan a reducir sus emisiones colectivas de seis gases en al menos 5 por ciento con respecto a 1990.** Los seis gases pueden ser combinados en una canasta, mediante la conversión de cada uno de ellos en "equivalentes a dióxido de carbono", de manera de expresar la reducción en un sólo número que combine a los seis gases. Cada país del Anexo I acordó diferentes niveles de reducción, e inclusive hay países (Australia, Islandia) que podrán aumentar su emisión en hasta 10 por ciento².
2. **Los objetivos de emisiones deberán ser cumplidos en el quinquenio 2008-2012**, estimado como el promedio de esos cinco años. Además, deberán demostrar progresos en el año 2005.
3. Para facilitar a los países del Anexo I el logro de sus objetivos (reducción de 29 por ciento con respecto a la emisión proyectada), el Protocolo crea tres mecanismos de flexibilización, cuya reglamentación operativa aún no ha sido definida:
 - **Comercio internacional de emisiones** (entre países del Anexo I)
 - **Actividades de implementación conjunta** (entre países del Anexo I)
 - **Mecanismo para el Desarrollo Limpio** (países del Anexo I podrán financiar proyectos que impliquen una reducción de emisiones en países No-Anexo I, y beneficiarse con "créditos de reducción de emisiones" que podrán ser utilizados como permisos de emisión³).

² Dado que todos estos países tenían proyecciones de aumento en sus emisiones, la reducción real será de aproximadamente 29 % con relación a la proyectada

³ De los tres mecanismos, los países No-Anexo I como los del Cono Sur, sólo podrán utilizar el MDL

4. Los países promoverán el recorte de emisiones en un amplio rango de sectores económicos. La medición de cambios en emisiones netas (emisiones menos remociones de C) desde los bosques es metodológicamente compleja y requiere clarificación futura.
5. El Protocolo asegurará la implementación de las obligaciones asumidas por los países bajo el CMNUCC.
6. El nuevo acuerdo será periódicamente revisado sobre la base de la mejor información científica, técnica y socioeconómica disponible. La primera revisión ocurrirá en la segunda COP luego de ratificado el Protocolo. Las obligaciones posteriores a 2012 comenzarán a negociarse en 2005.
7. La COP del CMNUCC servirá como Encuentro de las Partes (MOP) del Protocolo. Las partes del CMNUCC que no son partes del Protocolo podrán participar como observadores.
8. El Protocolo fue abierto para su firma durante un año (marzo 1998-marzo 1999). **Entrará en vigor 90 días luego de haber sido ratificado por al menos 55 países, incluyendo países desarrollados que representen al menos 55 por ciento de las emisiones de ese grupo en 1990.** Mientras tanto, las partes continuarán con sus obligaciones bajo el CMNUCC⁴.

Los sumideros de carbono

Los ecosistemas que retiran dióxido de carbono de la atmósfera son conocidos bajo el nombre de **sumideros**. Los sumideros almacenan carbono en compuestos orgánicos que conforman la biomasa y la materia orgánica de los suelos, y constituyen una de las formas de mitigación del efecto invernadero.

Uno de los aspectos más debatidos en el seno del CMNUCC es el de la inclusión de los sumideros en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL, art. 12 del Protocolo de Kyoto). Este mecanismo es el único, de los cuatro que establece el protocolo, que involucra a los países no incluidos en el Anexo B, entre los que se encuentran los del Cono Sur de América.

Algunas Cifras

La atmósfera tiene un intenso intercambio de carbono con los ecosistemas terrestres y los océanos. El intercambio anual de carbono de la atmósfera es del orden de miles de millones de toneladas o petagramos (1 Pg es igual a mil millones de toneladas). Un rápido análisis de la magnitud de esos intercambios permite tener una primera visualización del potencial de los sumideros para el combate del cambio climático (Figura 1).

Como consecuencia de las actividades humanas, la atmósfera acumula anualmente entre 2 y 3 Pg de carbono. Esta cifra es relativamente menor si se la compara con la cantidad de carbono que circula anualmente a través del ciclo respiración-fotosíntesis de los organismos terrestres, que es del orden de 60 Pg anuales. Esto significa que un incremento relativamente pequeño en la fotosíntesis (que absorbe carbono) con relación

⁴ el PK ha sido firmado por un total de 84 países, incluyendo a Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. Hasta julio de 2000 sólo 22 países -responsables en su conjunto por menos de 1 % de las emisiones de gases globales, y ninguno de ellos perteneciente al Anexo I- habían ratificado el Protocolo.

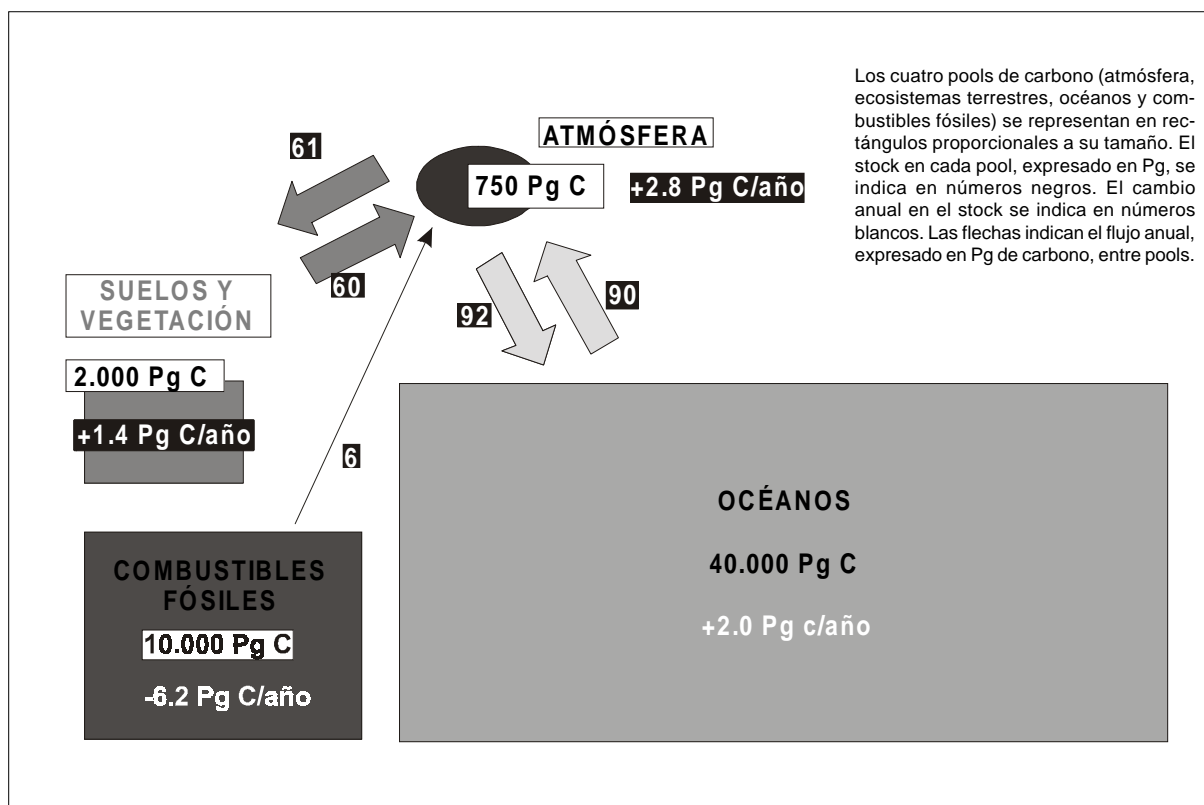


Figura 1. Representación esquemática del ciclo global del carbono. Adaptado de Battle et al. (2000).

a la respiración (que libera carbono) podría contribuir significativamente a la compensación de la acumulación anual de carbono en la atmósfera, que es de solamente de 2 a 3 Pg. De hecho, este desbalance entre fotosíntesis y respiración ya ha comenzado a ocurrir naturalmente como consecuencia de la elevada concentración de dióxido de carbono en la atmósfera.

Desde el inicio de la Revolución Industrial hasta el presente, las emisiones acumuladas de dióxido de carbono resultantes de las actividades del hombre -esto es, adicionales a las que ocurrieron por los procesos de la naturaleza- han sido del orden de 400 Pg de carbono. Como resultado, la atmósfera contiene hoy 170 Pg de C como dióxido de carbono adicionales a los que había hace 200 años. De las emisiones acumuladas de 400 Pg, 270 Pg correspondieron a la quema de combustibles fósiles, mientras que 136 Pg de C fueron liberados como consecuencia de cambios en el uso de la tierra.

La emisión histórica por cambios en el uso de la tierra (136 Pg) nos da una indicación del potencial ecológico para iniciar el proceso inverso, es decir, la devolución del carbono a su lugar de origen. La comparación de esta cifra con la del excedente de carbono en la atmósfera (170 Pg) sugiere que la creación de sumideros sería potencialmente un instrumento fundamental para el combate del cambio climático.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001) -un cuerpo integrado por más de 2.000 científicos de todo el mundo oficialmente reconocido por el CMNUCC- ha estimado que en los próximos 50 años se podría secuestrar o conservar entre 60 y 87 Pg C en bosques, y entre 23 y 44 Pg C en suelos.

El objetivo central del CMNUCC es “estabilizar la concentración atmosférica de los gases con efecto invernadero en niveles que no interfieran peligrosamente con el sistema climático”. Considerando que el contenido de carbono de la atmósfera aumenta exponencialmente, y que la capacidad de los sumideros es limitada, es claro que será necesario focalizar los mayores esfuerzos en el desarrollo de fuentes de energía limpias y en la mejora en la eficiencia de uso de la energía para cumplir con ese objetivo. Pero cualquier estrategia de combate del cambio climático que se adopte debería aprovechar las ventajas que ofrecen los sumideros.

Los sumideros en las negociaciones internacionales

El Protocolo de Kyoto acepta el uso de ciertos sumideros para el cumplimiento de los compromisos obligatorios asumidos por los países del Anexo B. El art. 3.3 establece que sólo aquellos sumideros relacionados con actividades de “aforestación, reforestación y desforestación” y que hayan sido inducidos directamente por actividades humanas posteriores a 1990, son elegibles. El art. 3.4 permite que se agreguen otras actividades adicionales en el futuro. Varios países ya han solicitado la inclusión de sumideros resultantes de cambios en el uso de la tierra y manejo de bosques no contemplados en el art. 3.3 del Protocolo de Kyoto.

Los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kyoto que son aplicables exclusivamente a los países del Anexo B (Mecanismo de Implementación Conjunta, descrito en el art. 6, y Mecanismo de Comercio de Emisiones, descrito en el art. 17) admiten expresamente el uso de sumideros. Sin embargo, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL, art. 12) ni los incluye ni los excluye. Esta aparente imprevisión ha dado lugar a interpretaciones encontradas sobre la posibilidad de aceptar actividades de sumideros desarrolladas en países no-Anexo B como válidas para que los países del Anexo B puedan cumplir con sus compromisos bajo el Protocolo de Kyoto.

La aceptación de los sumideros para el MDL es motivo de debate político. Las diversas posiciones en torno a este tema están claramente teñidas de intereses políticos y económicos, y parecen tener una muy débil relación con el objetivo ambiental de combatir el cambio climático. Asuntos tales como la permanencia en el tiempo del carbono secuestrado, las incertidumbres de las metodologías de medición, los impactos ambientales y sociales de la implementación de sumideros de carbono, y el fenómeno de *leakage* (aumento indeseado de la emisión de gases causado por un proyecto de secuestro de carbono) han estado en el centro de las discusiones. El reporte del IPCC sobre uso de la tierra y forestación (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000) ha aportado suficientes elementos científicos para dilucidar estas cuestiones.

Más allá de las decisiones políticas, es claro que los sumideros de carbono pueden contribuir significativamente al combate del cambio climático. En la siguiente sección se analizan los fundamentos de los suelos agrícolas como sumideros de carbono.

Generación de créditos de carbono por cambios en el uso de la tierra

El contenido de carbono orgánico de los suelos es afectado por el uso del suelo, y es la resultante del balance entre el aporte de residuos vegetales y su tasa de descomposición en el tiempo. La adopción de prácticas como la siembra directa y la siembra de pasturas artificiales, son cambios en el uso de la tierra que permitirían, según cuál sea la situación de partida, generar “créditos de carbono” a través de secuestro de C atmosférico y/o reducción de emisiones de gases con efecto invernadero (GEI). A continuación se analizan los efectos de algunas de dichas prácticas.

Eliminación del laboreo de suelos

El laboreo promueve la descomposición de la materia orgánica del suelo al aumentar el grado de aireación y la exposición de la materia orgánica a los microorganismos. Cuando un suelo se deja de labrear, manteniéndose el mismo nivel de aporte anual de residuos vegetales, comienza un proceso de acumulación de carbono en el suelo como resultado de la menor tasa de mineralización. Esto sucede durante un período de tiempo, hasta que se alcanza un nuevo equilibrio correspondiente al sistema de producción utilizado. El nuevo equilibrio puede alcanzarse en un plazo del orden de 50 ó más años (Bartholomew y Kirkham, 1960). El aumento en el contenido de carbono es muy rápido en los primeros años, y cada vez más lento hasta hacerse casi imperceptible.

No existen experimentos con agricultura bajo siembra directa que registren efectos acumulados durante 50 años. Sin embargo, considerando que buena parte de los cambios ocurre dentro de los primeros años, es posible visualizar tendencias en base a la información experimental ya disponible. Sin dejar de reconocer la existencia en la región de ensayos de largo plazo con casi tres décadas de efectos acumulados –como es el caso del de INTA Marcos Juárez- los ejemplos utilizados más abajo se basan en información obtenida en Uruguay. La razón de ello es que las condiciones agroecológicas de Uruguay serían las más representativas de la totalidad de la principal región agrícola de América del Sur.

Datos obtenidos en La Estanzuela, Uruguay (Sawchik, com. pers.) muestran que en un plazo de 10 años (1984-1994), partiendo de un suelo con 3 por ciento de materia orgánica en los 15 cm superiores, el contenido de materia orgánica subió a 4 por ciento en 10 años (Figura 2). Ello implica una acumulación de aproximadamente 1 t C/ha/año durante ese período.

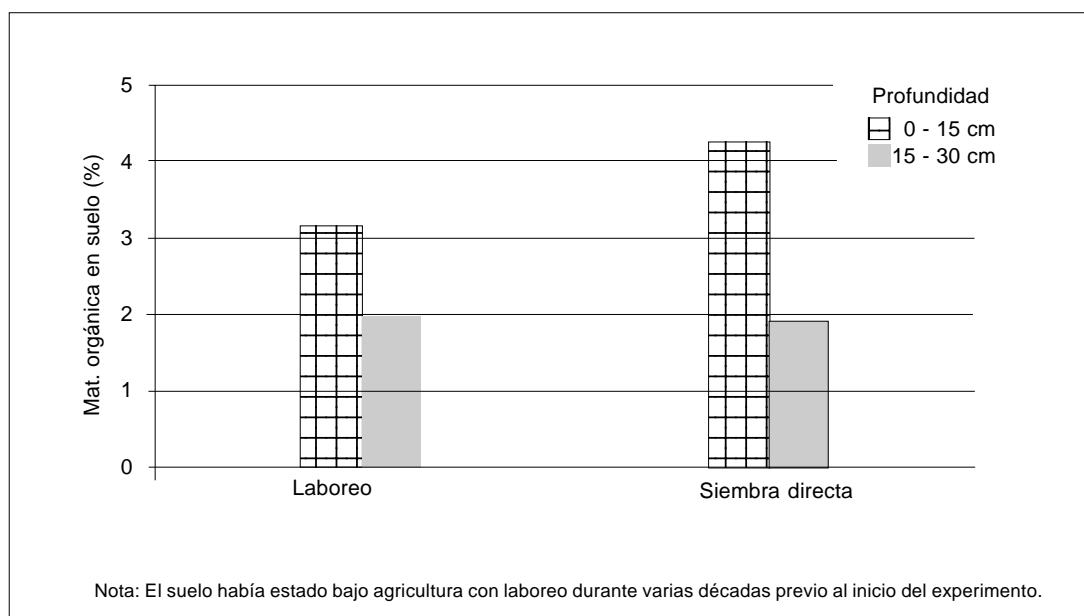


Figura 2. Contenido de materia orgánica del suelo en INIA La Estanzuela. Sawchik, información no publicada

No siempre que se establezca un sistema de siembra directa de cultivos ocurrirá una acumulación de carbono orgánico. El contenido de materia orgánica de equilibrio de un suelo varía según las propiedades del suelo y las prácticas de manejo (Rasmussen et al., 1980). Si el punto de partida es un sistema de manejo con devolución al suelo de altas cantidades de residuos vegetales (por ejemplo, un campo natural o un suelo que ha estado durante muchos años bajo pradera o con vegetación de gramíneas perennes) es de esperar que al establecer un sistema de agricultura con siembra directa ocurra un descenso en el contenido de materia orgánica.

Reducción de la erosión de suelo

El control de la erosión de los suelos es otra forma de reducir emisiones de dióxido de carbono desde los suelos. Es un hecho conocido que la erosión actúa arrastrando selectivamente las fracciones más finas (arcilla) del suelo, y también es sabido que la materia orgánica está fuertemente asociada a estas partículas más finas. Los sedimentos enriquecidos en carbono son redistribuidos dentro de la toposecuencia o terminan en corrientes de agua superficiales, en donde la materia orgánica es atacada por microorganismos resultando en liberación de CO₂. Gregorich et al. (1998) concluyeron que la adopción de prácticas que prevengan la erosión puede ser la mejor estrategia, a nivel global, para mantener y aún incrementar las cantidades de carbono almacenadas en los suelos.

Tomando nuevamente como ejemplo un estudio realizado en base a parcelas de escurrimiento en La Estanzuela, García Préchac (1992) encontró que la erosión de suelos en sistemas agrícola-ganaderos con labranza convencional fue de 4 a 7 veces la observada en sistemas similares con siembra directa. No se dispone de información sobre la concentración de C en los sedimentos erosionados. Es posible estimar que la diferencia en erosión entre sistemas habría significado entre 0,05 y 0,5 t C/ha/año (Figura 3).

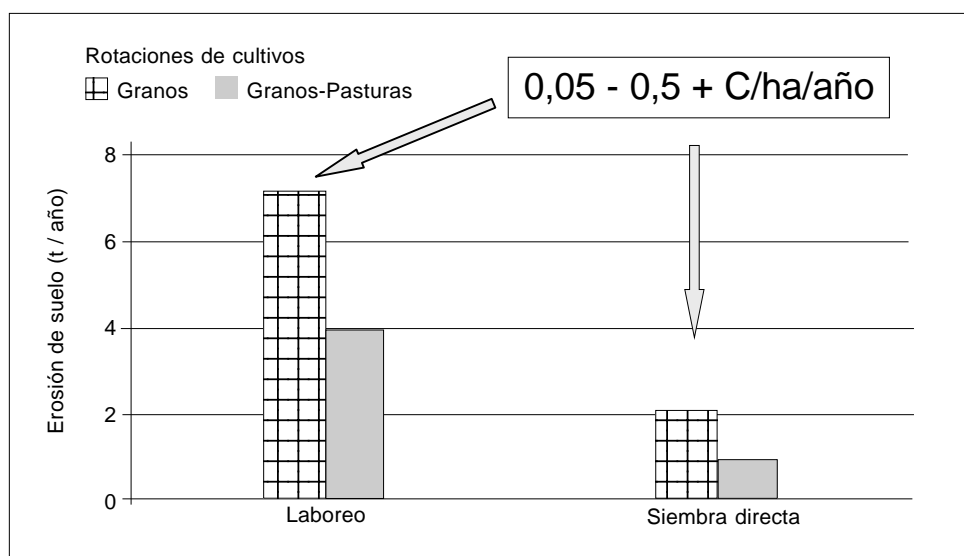


Figura 3. Erosión de suelo entre sistemas de labranzas y dos rotaciones de cultivos. Adaptado de García Préchac (1992).

Reducción del uso de combustibles fósiles

La quema de combustibles fósiles en agricultura es una fuente de emisión de gases con efecto invernadero. El consumo de combustible es usualmente menor en sistemas de siembra directa que con laboreo convencional. Frye y Phillips (1980) estimaron que un cultivo realizado con siembra directa consume hasta 40 por ciento menos que el mismo cultivo realizado con laboreo convencional (Figura 4). Ese menor consumo de combustible representa una modesta contribución a la mitigación del cambio climático (0,03 t C /ha/año).

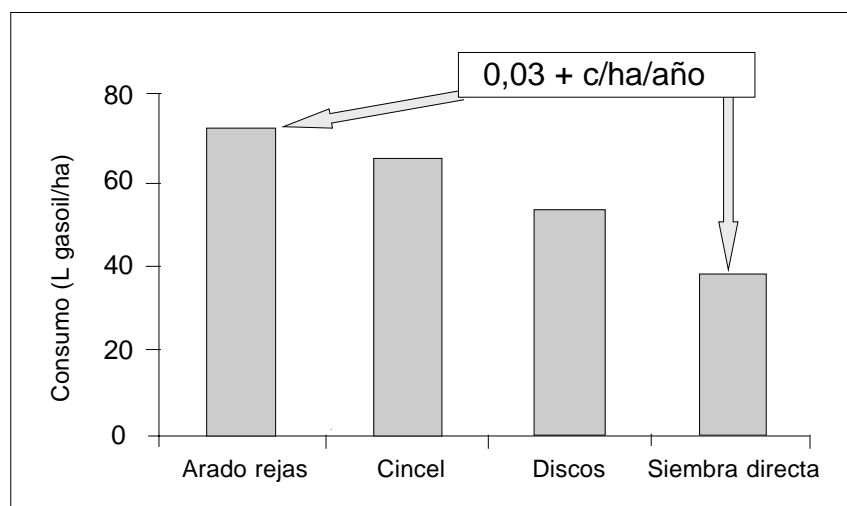


Figura 4. Consumo de combustible por un cultivo de maíz realizado con diferentes técnicas de labranza. Adaptado de Frye y Phillips (1980).

Esa pequeña contribución aún puede verse disminuida si se considera el balance energético total, lo cual implica tener en cuenta el uso de petróleo para la construcción de las maquinarias, y para la elaboración y transporte de los insumos, en particular los fertilizantes nitrogenados. Schlesinger (1999) estimó que la emisión de dióxido de carbono por uso de energía en el proceso de fabricación, transporte y aplicación de fertilizantes nitrogenados es de 1,2 kg C/kg N. Ello implica que si la fertilización nitrogenada fuese mayor con siembra directa que con laboreo, basta una diferencia de 25 kg N/ha para suprimir la ventaja de 0,03 t C /ha/año mencionada arriba.

Siembra de pasturas

Las forrajeras perennes (gramíneas, alfalfa) producen importantes cantidades de biomasa subterránea, que tiene una tasa de descomposición relativamente baja si se la compara con la biomasa aérea. La siembra de pasturas, en especial si se hace con siembra directa, puede contribuir al secuestro de importantes cantidades de carbono. En el ensayo clásico de rotaciones de La Estanzuela (Baethgen et al., 1994), luego de 30 años de aplicación de los tratamientos, el suelo bajo una rotación de cultivos y pasturas tenía entre 15 y 20 t C/ha más que bajo agricultura continua. Ello implica una diferencia de 0,5 t C/ha/año.

La utilización de pasturas artificiales tendría un beneficio adicional desde el punto de vista de la generación de créditos de carbono, que sería cuantitativamente muy

importante, especialmente si se trata de pasturas establecidas sobre campo natural en esquemas de producción ganadera extensiva. Los gases metano y óxido nitroso resultantes de la producción animal (fermentación ruminal y denitrificación de nitratos resultantes de las heces y orina, respectivamente) tienen un alto potencial de calentamiento de la atmósfera (21 y 310 veces superiores a los del CO₂, respectivamente). Su nivel de emisión es tanto más alto cuanto peor sea la calidad de la dieta animal y menores sean los niveles de productividad. Una intensificación de la producción como la que determinaría la siembra de pasturas puede resultar en reducciones importantes de las emisiones de estos gases.

Emisiones de óxido nitroso

El óxido nitroso (N₂O) es uno de los productos de la denitrificación, proceso de respiración microbiana del suelo que ocurre en condiciones de anaerobiosis. Este gas de efecto invernadero, se origina principalmente en suelos agrícolas. Dado su elevado potencial de calentamiento global, un modesto descenso en su emisión podría tener impactos relativamente importantes en la mitigación del cambio climático.

Las condiciones agroecológicas de Uruguay (suelos pesados poco permeables, abundancia de nitratos y carbono soluble, excesos de lluvia frecuentes, e inviernos con temperaturas suaves) determinan un alto potencial de ocurrencia de este proceso, el cual podría ser responsable de importantes pérdidas de nitrógeno en los sistemas agrícola-ganaderos. La denitrificación también podría tener una magnitud significativa en zonas agrícolas del sur de Brasil y la Pampa Húmeda argentina.

La adopción de la siembra directa podría conducir a mayor frecuencia de anaerobiosis (los suelos tienen menor porosidad y se saturarían más fácilmente), aunque también es de esperar menor disponibilidad de carbono soluble y nitrato, por lo que el resultado en cuanto a la tasa de denitrificación es incierto. Los resultados obtenidos en La Estanzuela hasta el presente (Celano y Martino, 2000) muestran que la pérdida total de N sería de similar magnitud en ambos sistemas de laboreo, pero la emisión de N₂O podría ser mayor bajo laboreo convencional (la denitrificación tiene como productos principales a dos gases: N₂ -ambientalmente inocuo- y N₂O). Ello implicaría que la siembra directa también podría generar créditos de carbono equivalentes a la reducción en la emisión de óxido nitroso, aunque es necesario realizar estudios más profundos al respecto.

El potencial de la siembra directa como generadora de certificados de carbono

Según lo discutido en la sección anterior, la mayor contribución de los sistemas de siembra directa al combate del cambio climático radicaría en la disminución de la mineralización de la materia orgánica del suelo y, en segundo término, de la supresión de la erosión de los suelos. Estos dos factores combinados podrían generar, en un plazo de diez años y en las condiciones de Uruguay, sumideros de hasta 15 t C/ha. Asumiendo que en la región se ha adoptado la siembra directa en más de cinco millones de hectáreas desde 1990 (año base del Protocolo de Kyoto), es de esperar que para el año 2010 el secuestro de carbono haya superado los 50 millones de toneladas. Esta cifra representa 1 por ciento del total de reducciones de emisiones de gases acordadas por los países desarrollados.

La venta de este servicio de secuestro de carbono podría generar ingresos de magnitud a los agricultores. Las incertidumbres acerca del desarrollo del mercado aún no permiten hacer predicciones más o menos precisas del precio de los certificados de carbono. Asumiendo que el mismo podría ubicarse en un rango entre US\$ 5 y 15 por tonelada, el

valor de mercado del sumidero de carbono de la región estaría entre US\$ 250 y 750 millones.

Dichas cifras pueden ser afectadas por el balance de emisión y absorción de otros gases con efecto invernadero además del dióxido de carbono. Por ejemplo, la inclusión de leguminosas en las pasturas puede potenciar el proceso de secuestro de carbono, al suministrar el nitrógeno necesario, aunque también puede resultar en una indeseada emisión de óxido nitroso (Celano y Martino, 2000). Algo similar puede ocurrir si la adopción de la siembra directa conlleva un incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados. Robertson et al. (2000) estimaron el potencial de calentamiento global neto de diferentes ecosistemas. Este indicador comprende la emisión y absorción de todos los gases con efecto invernadero, y sería más adecuado que el simple cambio en el contenido de carbono de los suelos para estimar la producción de certificados de carbono.

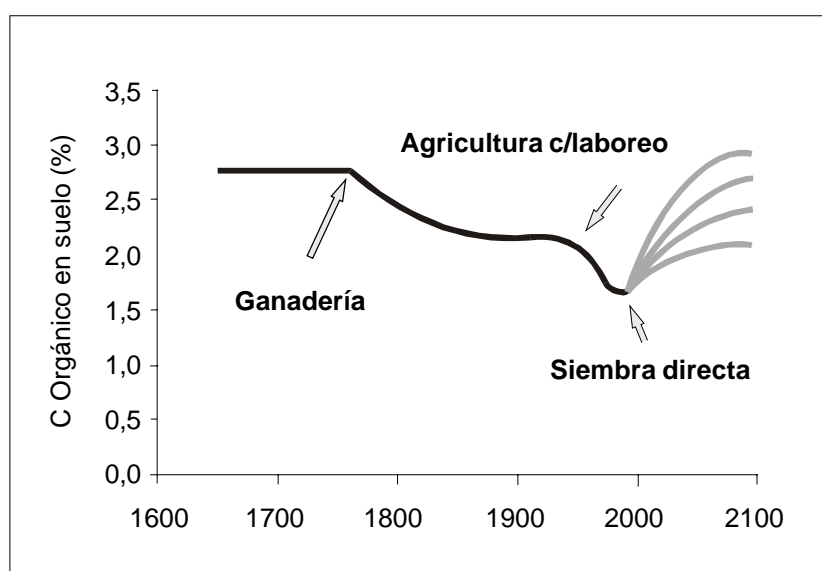


Figura 5. Modelo conceptual de la evolución del contenido de carbono de los suelos del suroeste de Uruguay desde la colonización española.

El Cono Sur de América, en función de sus características geográficas, climáticas, económicas y culturales tiene el potencial para ser uno de los mayores sumideros de carbono. En primer término, sus suelos ya han perdido considerables cantidades de carbono por su uso anterior (Figura 5), lo cual implica que existe un potencial ecológico para volver a almacenar una considerable cantidad de carbono. En segundo lugar, es una región con relativamente baja densidad de población y unidades productivas relativamente grandes, lo cual implica una baja presión de los sistemas agrícolas sobre los recursos naturales. Finalmente, es la región del mundo en la cual la siembra directa ha tenido la mayor tasa de adopción, por lo que ya hay un camino andado. El desarrollo del mercado de carbono con participación de los agricultores podría suministrar el estímulo económico para terminar de consolidar el camino hacia una agricultura más sostenible.

Literatura citada

- BAETHGEN, W.E.; MORÓN, A. y DÍAZ ROSSELLO, R. 1994. Modelización de la evolución del contenido de materia orgánica del suelo en seis sistemas de rotaciones en el SW de Uruguay. **In:** INIA Serie Técnica 41, "Materia orgánica en la rotación cultivo-pastura", pp. 13-15.
- BARTHOLOMEW, W.W. y KIRKHAM, D. 1960. Mathematical descriptions and interpretations of culture induced soil nitrogen changes. **In:** 7th International Congress of Soil Science, Madison, Wisconsin, USA. 3(2):471-477.
- BATTLE, M.; BENDER, M.L.; TANS, P.P.; WHITE, J.W.C.; ELLIS, J.T.; CONWAY, T. y FRANCEY, R.J. 2000. Global carbon sinks and their variability inferred from atmospheric O₂ and ¹³C. *Science* 287:2467-2470.
- CELANO, L. y MARTINO, D.L. 1999. Intensidad de denitrificación bajo diferentes sistemas de uso del suelo y condiciones ambientales en Uruguay. **In:** Seminario sobre Biología de Suelo. Buenos Aires, Argentina, Octubre 1999.
- GARCÍA PRECHAC, F. 1992. Propiedades físicas y erosión en rotaciones de cultivos y pasturas. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas* 1:127-140.
- GREGORICH, E.G.; GREER, K.J.; ANDERSON, D.W. y LIANG, B.C. 1998. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil & Tillage Research* 47:291-302.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2000. Land Use, Land Use Changes and Forestry Report. http://www.grida.no/climate/ipcc/land_use/index.htm
- _____. 2001. IPCC Third Assessment Report. Working Group III: "Climate change 2001: mitigation". <http://www.ipcc.ch>
- MARTINO, D.L. 1994. Agricultura sostenible y siembra directa. INIA (Uruguay), Serie Técnica 50.
- RASMUSSEN, P.E.; ALLMARAS, R.R.; RHODE, C.R. y ROAGER JR., N.C. 1980. Crop residue influences on soil carbon-nitrogen in a wheat-fallow system. *Soil Science Society of America Journal* 44:596-600.
- ROBERTSON, G.P.; PAUL, E.A. y HARWOOD, R.R. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289:1922-1925.
- SCHLESINGER, W.H. 1999. Carbon sequestration in soils. *Science* 284:2095.
- STOTT, P.A.; TETT, S.F.B.; JONES, G.S.; ALLEN, M.R.; MITCHELL, J.F.B. y JENKINS, G.J. 2000. External control of 20th century temperature by natural and anthropogenic forcings. *Science* 290:2133-2137.



Enfermedades

Manejo de enfermedades en siembra directa

por Antonio Ivancovich*

Los cambios ocurridos en la agricultura han causado modificaciones del ecosistema y formado subsistemas o **Agroecosistemas** que se caracterizan por la uniformidad genética en grandes extensiones, las condiciones de microambiente diferentes a la de los sistemas naturales, y por su **baja estabilidad**.

Dentro de un agroecosistema la interacción entre un hospedante vegetal y un parásito, que se nutre del mismo provocando una enfermedad, es definida como un **Patosistema vegetal**. Los parásitos involucrados en esta relación pueden ser, entre otros, nematodos, hongos, bacterias o virus. Cuando en esa interacción no participa el hombre, a través de la agricultura, el sistema se comporta como autónomo, y es **estable**, debido a la acción de mecanismos de autorregulación que tienden a compensar cualquier tipo de desvíos a partir del equilibrio óptimo. Esta interacción es denominada **Patosistema natural**.

Cuando el hospedante es un cultivar genéticamente uniforme y sembrado en alta densidad, el ambiente es el resultado de la arquitectura específica del hospedante, de las prácticas de cultivo adoptadas y de las características del terreno en el que el cultivo se haya implantado. En esas condiciones no existe capacidad de autorregulación y por consiguiente el sistema es **inestable** (Robinson, 1987). Esta interacción es denominada **Patosistema cultural**.

Importancia de las enfermedades en el agroecosistema

El potencial de la producción agrícola es el resultado de la interacción de una serie de factores bióticos y abióticos que incluyen a las enfermedades de las plantas como una de las más importantes limitantes del rendimiento y de la calidad de los cultivos.

Estrategias de supervivencia de los principales agentes causales de enfermedad

El conocimiento del ciclo de vida del patógeno y sus formas de supervivencia son de fundamental importancia, ya que cualquier alteración que podamos provocar sobre el mismo puede inhibirlo o restarle eficiencia y por lo tanto favorecer el manejo de las enfermedades que ellos ocasionan.

* PhD. EEA INTA Pergamino

E- mail: ivancovich@pergamino.inta.gov.ar

Control de enfermedades: involucra la aplicación de medidas tendentes a erradicar al organismo causal de una enfermedad.

Manejo de enfermedades: implica un proceso continuo de eventos consistente 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, y su concepto está estrechamente ligado al de «umbral de daño económico», definido como la menor densidad de población del patógeno que causa daño económico.

El manejo de las enfermedades de los cultivos es una estrategia de Manejo del Agroecosistema.

El manejo cultural de enfermedades tiene la ventaja de ser altamente eficiente, compatible con los sistemas de producción predominantes, de bajo costo para el productor, y poco contaminante.

A través de la caracterización del efecto de las diferentes formas de manejo sobre la ocurrencia de las enfermedades se pueden desarrollar estrategias de manejo cultural.

El empleo de ciertas prácticas culturales no sólo permite reducir la predisposición de los cultivos a agentes fitopatógenos sino también eficientizar el espectro de resistencia disponible y minimizar el uso de agroquímicos.

Un sistema de labranza llamado «ecofallow» (ecobarbecho) usado en la zona semiárida de EEUU que combina labranza reducida y rotación de trigo invernal-sorgo granífero demostró reducir la «podredumbre del tallo» en sorgo granífero (*Fusarium moniliforme*) de 39% a 11% luego de tres años de aplicación (Doupnik y Boosalis, 1980).

Desde el punto de vista del desarrollo de la enfermedad el manejo de enfermedades se logra de diferentes modos: reduciendo o demorando la enfermedad al comienzo de la estación del cultivo o reduciendo la velocidad de desarrollo de la enfermedad durante el período de crecimiento del cultivo (Zadoks, 1979).

Las prácticas culturales contribuyen al manejo de enfermedades *bloqueando el ciclo de vida de los patógenos* en uno o varios estadios afectando su sobrevivencia, *previniendo la introducción de inóculo* (material infectivo del patógeno) y *eliminando hospedantes susceptibles* a determinados patógenos (Palti, 1981).

La textura, profundidad, composición, y reacción del suelo determinan la forma de crecimiento de las raíces de las plantas y por lo tanto su estado sanitario. Las labores culturales pueden modificar esas características de los suelos, alterando de ese modo el estado sanitario de las plantas que crecen en los mismos.

Las prácticas culturales tienen diferente efecto sobre las enfermedades de los cultivos. La rotación de cultivos y los sistemas de labranza pueden influir sobre la cantidad de inóculo primario proveniente de años anteriores y sobre la velocidad de incremento del inóculo; mientras que algunos factores nutricionales influyen sobre aspectos como duración del período de susceptibilidad y del período latente de infección.

Las prácticas culturales factibles de emplear en un programa de manejo de enfermedades son entre otras: labranzas, rotación y secuencia de cultivos, control de malezas, elección de fecha de siembra, profundidad de siembra, elección de cultivares, regulación de pH del suelo, densidad de siembra, eliminación de hospedantes alternativos, riego y fertilidad. El efecto predisponente o limitante de cada una de estas prácticas varía de acuerdo al tipo de patógeno y cultivo considerado. En este artículo se hace referencia solamente al efecto de las labranzas sobre las enfermedades.

Siembra directa y su relación con las enfermedades

La reducción de inóculo con labranzas se basa en su inactivación por incorporación a capas profundas del suelo, o exposición al calor y sequía en la superficie del suelo (Webster, 1976).

La labranza del suelo ha cambiado en los últimos años, donde la labranza convencional que incorporaba rastrojos a 15-20cm de profundidad está siendo reemplazada por la labranza conservacionista, con rastrojos en superficie que, entre otros beneficios, conserva la humedad del suelo, reduce la erosión y reduce costos de producción (combustibles y maquinarias) (Schreiber, 1987).

La incorporación de nuevas técnicas de labranza conservacionista implica un manejo de cultivo diferente y por lo tanto un cambio en el manejo de las enfermedades al modificarse el agroecosistema.

El efecto de las labranzas sobre las enfermedades es variable pudiendo incrementar, disminuir, o no tener ningún efecto sobre las enfermedades de las plantas (Crawford, 1984; Rothrock et al., 1985; Botta y Annone, 1990).

Los restos de cultivo dejados en la superficie o parcialmente enterrados pueden permitir la sobrevivencia de los patógenos durante períodos adversos hasta que un nuevo cultivo sea implantado, pero también pueden favorecer las condiciones para la actividad de otros organismos que actúan en el control biológico de los mismos (Cook, 1977; Sumner et al., 1981).

El efecto del manejo cultural está relacionado al tiempo de implantación del mismo, donde la acción sobre las enfermedades a corto plazo puede ser diferente que a largo plazo (Ivancovich, 1986). En tal sentido, Wacha et al. (1979) reportan que la población del hongo *Trichoderma spp.*, parásito de algunos importantes patógenos, se incrementó con labranza reducida.

Para determinar la relación entre la siembra directa y las enfermedades en los cultivos extensivos, se debe caracterizar e interpretar cada situación en forma particular, para un cultivo, una enfermedad, y una localidad determinada.

En tal sentido experiencias realizadas en **soja** en Argentina determinan el efecto de las prácticas culturales sobre algunas enfermedades.

En ensayos de labranza, llevados a cabo en el área de Nueve de Julio, provincia de Buenos Aires, durante un período de cinco años, se observó una mayor incidencia y severidad de la podredumbre húmeda del tallo, causada por el hongo *Sclerotinia sclerotiorum*, en las parcelas bajo labranza convencional.

Esta diferencia se hace más evidente en las fechas tempranas de evaluación (estadios fenológicos reproductivos intermedios R3-R5), y se explicarían por el "escape" de las plantas de soja de las parcelas bajo labranza cero a las infecciones tempranas de la enfermedad.

El retraso en el desarrollo de las plantas que se observa en dichas parcelas, en relación a las que se presentan en las parcelas bajo labranza convencional, no favorece al microambiente de temperaturas moderadas y alta humedad que predispone a la enfermedad. Como consecuencia, bajo estas condiciones se minimizan las infecciones tempranas que son las que ocasionan mayores pérdidas al cultivo (Ivancovich et al 1994,1999).

Experiencias similares realizadas en áreas con menores niveles de incidencia de la enfermedad de Rafaela, provincia de Santa Fe, no muestran efecto diferencial de las labranzas sobre la misma enfermedad (Ivancovich, 1997).

En ensayos realizados en la EEA INTA Pergamino, durante dos años, se estudió el efecto de dos secuencias de cultivo, trigo/soja de segunda y trigo/soja de segunda-maíz y dos tipos de labranza, cero y convencional, sobre el síndrome de la muerte repentina, causado por el hongo *Fusarium solani* f.sp. *glycines*.

A través de los resultados de este ensayo se infiere que:

- La inclusión de maíz en la secuencia de cultivos disminuye la incidencia de la enfermedad.
- La labranza no afecta los niveles de incidencia de la enfermedad dentro de la secuencia trigo/soja de segunda - maíz, pero la labranza cero incrementa los mismos bajo la secuencia trigo/soja de segunda.
- El incremento de la enfermedad se produce bajo labranza cero dentro del sistema de monocultivo de soja (Bejarano, 1996).

Literatura citada

- APPLE, J.L. 1977. The theory of disease management. Pages 79-101. **In:** Vol.I. J.G. Horsfall and E.B. Cowling, eds. Academic Press, New York, 465 p.
- BEJARANO, N. DEL V. 1996. Caracterización de los efectos de prácticas de manejo suelo-cultivo sobre la incidencia del Síndrome de la Muerte Repentina de la soja (*Fusarium solani*). Tesis Mg.Sc. La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, INTA/IASCAV. 49p.
- BOTTA, G. y ANNONE, J. 1990. Influencia de los sistemas de labranza sobre el desarrollo de la podredumbre húmeda del tallo. Carpeta de Producción Vegetal. EEA Pergamino Tomo IX (Inf. 86, Setiembre).
- COOK, R.J. 1977. Management of the associated microbiota. **In:** «Plant Disease. An Advanced Treatise». (J.G. Horsfall and E.B. Cowling eds.) vol. 1, pp. 1145-166. Academic Press. N.Y.)
- CRAWFORD, M.A. 1984. Seed treatment and tillage practices as they affect spread and control of stem canker. **In:** Proceedings of the Conference on the *Diaporthe-Phomopsis* complex of soybean. March 26-27, 1984-Fort Walton Beach-Florida-USA.
- DOUPNIK, B. JR. and BOOSALIS, M.G. 1980. Ecofallow -A reduced tillage system- and plant diseases. *Plant Dis.* 64:31-35.
- IVANCOVICH, A. 1986. Soybean diseases in a long-term rotation and tillage system. MSc Thesis. Purdue University IN-USA.
- _____; BOTTA G., ANNONE, J. and PORFIRI, A. 1994. Effect of tillage system on incidence of Sclerotinia Stem Rot of soybean. **In:** Proceedings of the World Soybean Research Conference V. Chiang Mai, Thailand. February 1994.
- _____. 1997. Manejo cultural de enfermedades en siembra directa. **In:** Seminario Siembra Directa, Buenos Aires, 1997. Resúmenes. Buenos Aires, INTA-IPG. p. 73-77.

- _____; BOTTA G. and VENTIMIGLIA, L. 1999. "Incidence of Sclerotinia Stem Rot of soybean under different tillage systems". In: Proceedings of the World Soybean Research Conference VI. Chicago, USA. August 1999.
- PALTI, J. 1981. Cultural practices and infectious crop diseases. Springer-Verlag, New York. 243 p.
- ROBINSON, R. 1987. Host Management in Crop Pathosystems. Mac Millan Publishing Co. New York. 763 p.
- ROTHROCK, C.S.; HOBBS, T.W. and PHILLIPS, D.V. 1985. Effects of tillage and cropping system on incidence and severity of southern stem canker of soybean. *Phytopathology* 75:1156-1159.
- SCHREIBER, M.M. 1987. Integrated Pest Management Systems; A research Approach. Research Bulletin 985. Purdue University. 1 p.
- SUMNER, D.R.; DOUPNIK, B. and BOOSALIS, M.G. 1981. Effects of reduced tillage and multiple cropping on plant diseases. *Ann. Rev. Phytopathol.* 19:167-187.
- WACHA, A.G. and TIFFANY, L.H. 1979. Soil fungi isolated from fields under different tillage and weed control regimes. *Mycologia* 71:1215-1226.
- WEBSTER, R.K.; BOLSTAD, J.; WICK, C.M. and HALL, D.H. 1976. Vertical distribution and survival of *Sclerotium oryzae* under various tillage methods. *Phytopathology* 66:97-101.
- ZADOKS, J.C.; SCHEIN, R.D. 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. New York: Oxford Univ. Press. 417 p.

Principales manchas foliares del trigo asociadas a siembra directa en Argentina

Factores de riesgo y estrategias para reducirlo

por Juan G. Annone*

Los organismos fitopatógenos en escenarios productivos de siembra directa

El ambiente físico-químico y biológico en cultivos conducidos en siembra directa presenta diferencias contrastantes con el de cultivos conducidos en forma “convencional” en los que el hombre modifica profundamente las numerosas y variadas interacciones organismo-ambiente para obtener lo máximo del recurso en el menor tiempo posible.

El microambiente del cultivo en siembra directa está menos expuesto a grandes variaciones térmicas e hídricas proveyendo el *hábitat* para un gran número de organismos. Es conocido el hecho que la siembra directa promueve el desarrollo de organismos benéficos que cumplen un papel trascendente en el reciclado de elementos mayores como carbono, nitrógeno y fósforo, entre muchos otros. También es claro que, en el proceso de coevolución con los vegetales, algunos microorganismos se han adaptado para nutrirse de ellos parte o toda su vida. Esos microorganismos denominados parásitos han desarrollado dos grandes estrategias de vida según el modo en que se perpetúan. Así, una fracción se ha adaptado a parasitar células vivas, los **parásitos absolutos**, en tanto que otros, los **parásitos facultativos**, tienen la capacidad de sobrevivir asociados a tejido muerto en forma saprofítica y modificar su hábito de crecimiento para vivir parasíticamente cuando se confrontan con los tejidos de sus hospedantes específicos.

Los cultivos de trigo establecidos en siembra directa pueden ser afectados por varios organismos fitopatógenos, aunque los de mayor importancia relativa para el sistema son los de hábito facultativo, asociados a restos de rastrojo (Cuadro 1).

TIPO DE ENFERMEDAD	FUENTE DE INÓCULO	IMPORTANCIA RELATIVA EN SD	IMPORTANCIA ECONÓMICA
TIZONES DE PLÁNTULAS/ TIZONES FOLIARES/ DESTRUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE LA ESPIGA	SEMILLAS	BAJA/MODERADA	BAJA/MODERADA
PODREDUMBRES DE RAÍZ Y CORONA	PARTÍCULAS DE SUELO/RASTROJO	BAJA/MODERADA	BAJA/MODERADA
TIZONES FOLIARES Y DE LA ESPIGA	RASTROJOS	ALTA	ALTA
PÚSTULAS	HOSPEDANTES VOLUNTARIOS/ALTERNATIVOS?	MODERADA	ALTA
AMARILLEOS	VECTORES	BAJA	BAJA

* Ing. Agr. MSc. EEA INTA Pergamino, Bs. As., Argentina. E-mail: pcimmyt@pergamino.inta.gov.ar

Los parásitos facultativos (hongos necrotróficos y bacterias) son los que encuentran en el ambiente de siembra directa en los primeros años de establecido el sistema mayores posibilidades para perpetuarse y alcanzar los tejidos potencialmente susceptibles en forma más eficiente. Esta es una de las principales razones por las cuales las enfermedades del trigo causadas por parásitos facultativos ocurren en forma más temprana e intensa en el escenario productivo de siembra directa.

Los principales parásitos de hábito facultativo del trigo conducido en siembra directa y las enfermedades que ocasionan son presentadas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Principales parásitos de hábito facultativo del trigo conducido en siembra directa y las enfermedades que ocasionan.

Tipo de organismo	Nombre científico	Enfermedad que ocasiona
Bacteria	<i>Xanthomonas campestris pv undulosa</i>	Estria bacteriana
Hongo	<i>Septoria tritici</i>	Mancha de la hoja
Hongo	<i>Drechslera tritici-repentis</i>	Mancha amarilla
Hongo	<i>Fusarium graminearum</i>	Fusariosis de la espiga
Hongo	<i>Gaeunmanomyces graminis var. Tritici</i>	Pietín

Fuente: Annone y Kohli, 1996

Principales enfermedades foliares de trigo asociadas a la siembra directa

La relativamente lenta descomposición de residuos de trigo bajo las condiciones prevalentes en la mayor parte de la región triguera argentina, motiva que esos restos vegetales colonizados por algunos parásitos facultativos se constituyan en «puentes» para poder alcanzar al cultivo en años subsiguientes (Annone, 1996a)

A continuación se describen los síntomas y aspectos epidemiológicos relevantes de las enfermedades foliares que los principales parásitos facultativos ocasionan a los cultivos de trigo conducidos bajo sistemas de labranza reducida, y las estrategias de protección para reducir los daños que causan. A pesar de su importancia económica, no se incluye la roya de la hoja causada por *Puccinia recóndita*, debido a su carácter de patógeno absoluto cuya relación de parasitismo con el trigo no es notoriamente modificada por el tipo de labranza empleado.

Mancha amarilla

La “mancha amarilla” causada por *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs. (teleomorfo de *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoem. fue observada por primera vez sobre trigo a fines de la década del '20 en el Japón (Hosford, 1982).

Las primeras menciones sobre la ocurrencia de esta enfermedad foliar del trigo en Argentina son de mediados del '80 y corresponden al área centro-norte de la región triguera (Annone, 1985, Annone, et al., 1994a).

Los efectos de la mancha amarilla sobre los rendimientos pueden alcanzar niveles importantes. En los EEUU, Sharp y colaboradores (1976) observaron que bajo condiciones de severo ataque de *D. tritici-repentis* el peso de los 1000 granos de un grupo de cultivares de trigo fue reducido en un 9-20 %. En Australia, Rees y otros (1982) calcularon que el efecto de esta enfermedad sobre los rendimientos fue del orden del 50 %. Por su parte, Mehta y Gaudencio (1991) estimaron que las pérdidas de rendimientos asociadas a la mancha bronceada en el estado de Paraná, Brasil, eran cercanas al 40 %. Kohli et al., (1992) reportaron que el nivel de pérdidas ocasionado por la mancha bronceada en lotes de producción en Paraguay y Argentina a principios del '90 habría fluctuado entre el 20 y el 70 %. En un ensayo establecido en el norte de la provincia de Buenos Aires se estimó que la enfermedad causó alrededor del 20 % de mermas (Annone et al., 1994b). Por su parte, Galich y Galich (1994) describieron que las pérdidas causadas por *D. tritici-repentis*, asociada a *Septoria tritici*, en cultivares de trigo de ciclos corto y largo en ensayos conducidos en Marcos Juárez, Córdoba, oscilaban del 6 al 13,5 %.

El agente causal de la mancha amarilla se propaga principalmente por medio de esporas (ascosporas y conidios) que se originan en lesiones de plantas de trigo establecidas naturalmente («guachas»), y en lesiones de algunas malezas y pastos naturales que funcionan como hospedantes voluntarios (Hosford, 1982; Wiese, 1977; Wright & Sutton, 1990; Schilder & Bergstrom, 1992). Hosford (1982) reportó que *P. tritici-repentis* fue observado afectando a varias especies de *Agropyron* y *Elymus*, *Andropogon gerardi*, *Alopecurus arundinaceus*, *Dactylis glomerata*, *Bromus inermis*, *Phalaris arundinacea*, cebada, centeno y avena entre otros hospedantes. Krupinsky (1987) describió la importancia de *Bromus inermis* como hospedante alternativo del parásito en Dakota del Norte, Dakota del Sur y Montana, EEUU. Por su parte, Kohli y colaboradores (1992) sugirieron la importancia potencial que algunas de esas especies, presentes en el Uruguay, podrían tener para el desarrollo de la enfermedad en ese país.

Las esporas de origen asexual, junto con trozos del cuerpo vegetativo del hongo, también pueden ser transferidos a nuevos cultivos por medio de la semilla (Hosford, 1982, Carmona, 1996). Schilder y Bergstrom (1992) determinaron que en semillas severamente infectadas por *P. tritici-repentis* (75 %) la transmisión del patógeno al futuro cultivo era considerable. Estos investigadores enfatizaron la importancia de la severidad de la enfermedad en hoja bandera sobre la infección de la semilla. Reis y Kohli (1993), por su parte, determinaron que el porcentaje de transmisión de la infección desde la semilla al coleóptilo era del 24,4% (mencionado por Kohli y Reis, 1994).

P. tritici-repentis es un microorganismo que puede generar inóculo, infectar al trigo y causar lesiones en un rango considerablemente amplio de condiciones ambientales. Esos procesos ocurren normalmente con temperaturas de 10 a 30°C y períodos de 6 a 48 horas de alta humedad relativa (Wiese, 1977). Hosford (1982) puntualizó que la mayoría de los cultivares de trigo son severamente afectados después de ser expuestos a alta humedad relativa (formación de agua libre sobre las hojas) por 48-54 horas después de inoculados. El mismo autor señaló que el desarrollo intenso de lesiones severas de enfermedad es más favorecido por períodos prolongados con formación de rocío sobre los tejidos foliares que por precipitaciones.

Mancha de la hoja o septoriosis de la hoja

La «mancha de la hoja» o «septoriosis de la hoja del trigo» es causada por el hongo *Septoria tritici* Rob. ex Desm. anamorfo de *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schroeter. Si bien es una enfermedad conocida en Argentina desde hace varias décadas, su importancia creció a partir de comienzos de la década del '70 con la liberación de la primera generación de trigos de bajo porte y alto potencial de rendimiento que resultó ser altamente susceptible a su agente causal.

La septoriosis de la hoja puede llegar a causar pérdidas de rendimiento considerables en años con primaveras con temperaturas moderadas a bajas y frecuentes precipitaciones. En ese tipo de ambientes, y dependiendo del cultivar involucrado, la cantidad y calidad de residuos de trigo en superficie, y la fecha de siembra, entre otros factores, puede alcanzar las hojas superiores y ocasionar pérdidas de rendimiento de hasta el 50 por ciento.

Eyal y colaboradores (1987) estimaron que a nivel mundial las pérdidas causadas por esta enfermedad son del 31 al 34 %. En Brasil, Mehta (1993) reportó daños de hasta el 40 %. Por su parte, Díaz (1995) reportó que en Uruguay las pérdidas causadas por la septoriosis de la hoja pueden alcanzar valores de hasta el 30 %.

En Argentina, Galich y colaboradores (1986) estimaron pérdidas que fluctuaron entre 13 y 30 %. Por su parte, Annone y otros (1991 y 1993) evaluaron mermas desde el 10 % en base al peso de los granos y de hasta el 60 % sobre los rendimientos.

El hongo *Septoria tritici* sobrevive asociado a restos de tejidos de tallos, vainas y hojas de trigo en los que principalmente produce picnidios, aunque menos frecuentemente produce pseudotecios que corresponden a la forma perfecta o teleomorfo, *Mycosphaerella graminicola* (Sanderson, 1976, Madariaga, 1995 y Cordo et al., 1991).

Septoria tritici requiere de un período de alta humedad relativa de al menos 48 horas de duración para infectar los tejidos de trigo con una temperatura media de alrededor de 20 ° C, razón por la cual los períodos con frecuentes chaparrones predisponen al establecimiento y desarrollo de la enfermedad (Eyal et al., 1987).

El período de latencia de las infecciones puede variar de 14 a 20 días y el progreso de la enfermedad en la planta es de tipo vertical como en el caso de la mancha amarilla.

Espiga negra o estría bacteriana

Esta enfermedad, también denominada «Black chaff», es ocasionada por la bacteria *Xanthomonas campestris* patovar. *undulosa*. La espiga negra fue descrita por primera vez en Argentina afectando plantas de trigo a fines de la década del '20 (Valiela, 1975; Annone, 1995). Excepto ocasionalmente durante la década del '60, no se evidenció como importante para la producción del trigo hasta la campaña agrícola 1985/86 cuando fue la causa probable de una epifitia de consideración en la zona sudeste de Buenos Aires (Nisi, et al., 1986). Sin embargo, a partir de la creciente adopción de sistemas de labranza conservacionistas comenzó a hacerse importante causando daños de consideración en algunas situaciones puntuales (Annone, 1995).

Según Mehta (1993 a) la información sobre pérdidas de rendimientos ocasionadas por la espiga negra es escasa e imprecisa. Este investigador puntualizó que algunos brotes esporádicos de la enfermedad en campos comerciales de trigo de Argentina, Paraguay y Brasil causaron mermas superiores al 40 %, y en el caso particular del estado de Paraná en Brasil se alcanzaron valores de hasta el 100 %. Mehta y Bassoi (1993) estimaron pérdidas debida a esta bacteriosis en un rango que fluctuó entre 21 y 33 % según el nivel de contaminación de la bacteria en la semilla y el grado de susceptibilidad del cultivar utilizado. Por su parte, Schaad y Forster (1985) registraron pérdidas del orden del 40 % en lotes con riego por aspersión localizados en el noroeste de los Estados Unidos.

La espiga negra es particularmente destructiva cuando alcanza las hojas superiores y glumas, en cuyo caso puede causar esterilidad de espiguillas y/o producción de granos «chuzos». En condiciones de alta humedad relativa, sobre las lesiones se producen exudados bacterianos de color amarillo brillante y aspecto mucilaginoso que cuando se desecan forman cristales ambarinos muy pequeños, con aspecto de escamas brillantes (Zillinsky, 1984, Mehta, 1993).

Xanthomonas campestris patovar. *undulosa* persiste en residuos de plantas en el suelo, en la semilla de cultivos afectados y en hospedantes voluntarios del tipo de las gramíneas.

Mehta y Gaudencio (1991) reportaron que la bacteria difícilmente sobrevive las altas temperaturas (30-38°C) que ocurren en el estado de Paraná, Brasil, durante los meses de noviembre a febrero, restando importancia al efecto de control que las prácticas de labranza y rotaciones ejercerían sobre la misma. En Argentina, sin embargo, las temperaturas más bajas durante el verano en la mayor parte de la región triguera podrían permitir la sobrevivencia del parásito constituyéndose, de tal modo, en una fuente de inóculo complementaria a la aportada vía semilla (Annone y Kohli, 1996)

Factores de riesgo sanitario en cultivos de trigo conducidos en siembra directa

Algunos factores del escenario productivo de siembra directa incrementan el nivel de riesgo sanitario en cultivos de trigo. Entre ellos se destacan:

Monocultivo

El establecimiento de cultivos de trigo en lotes en los que existen restos de plantas en superficie impone una situación de alto riesgo sanitario debido a que varios parásitos facultativos desarrollan sus formas de perpetuación (pseudotecios, picnidios, restos de micelio, conidios) en ese sustrato. El caso más clásico en este sentido lo constituyen los pseudotecios de *Pyrenophora tritici-repentis*, teleomorfo de *Drechslera tritici-repentis*, agente causal de la “mancha amarilla”

En gran parte de la región triguera argentina el monocultivo prevalece sobre la rotación debido a la amplia difusión del doble cultivo trigo-soja en el área norte y a las limitadas alternativas de cultivos invernales en el área sur.

La importancia de restos de cultivo de trigo colonizados por parásitos facultativos ha sido ampliamente documentada por investigadores como Cook y Veseth (1991), Kohli y colaboradores (1992), Mehta y Gaudencio (1991), Kohli y Reis (1994) y Annone y Kohli (1996), entre otros, para el caso de la mancha amarilla.

El hongo causante de la septoriosis de la hoja, como típico parásito facultativo, también tiene la capacidad de sobrevivir asociado a restos de tejido de tallos, vainas y hojas en los que produce picnidios y pseudotecios (Madariaga, 1995, y Cordo et al., 1991).

Cultivares con perfil sanitario de alto riesgo a manchas foliares

Si se considera el comportamiento de los cultivares de trigo frente a las enfermedades más difundidas en Argentina (roya de la hoja, mancha amarilla, septoriosis de la hoja y fusariosis de la espiga) en 3 niveles de riesgo (bajo, moderado y alto) surge que cada una de ellas se caracteriza por un “perfil sanitario” definido (Annone, 1998a y Annone et al., 2000). En la actualidad, algunos cultivares difundidos presentan niveles de riesgo moderado a alto para enfermedades como la mancha amarilla y la septoriosis de la hoja (Figura 1), hecho que incrementa el riesgo sanitario de lotes establecidos en siembra directa.

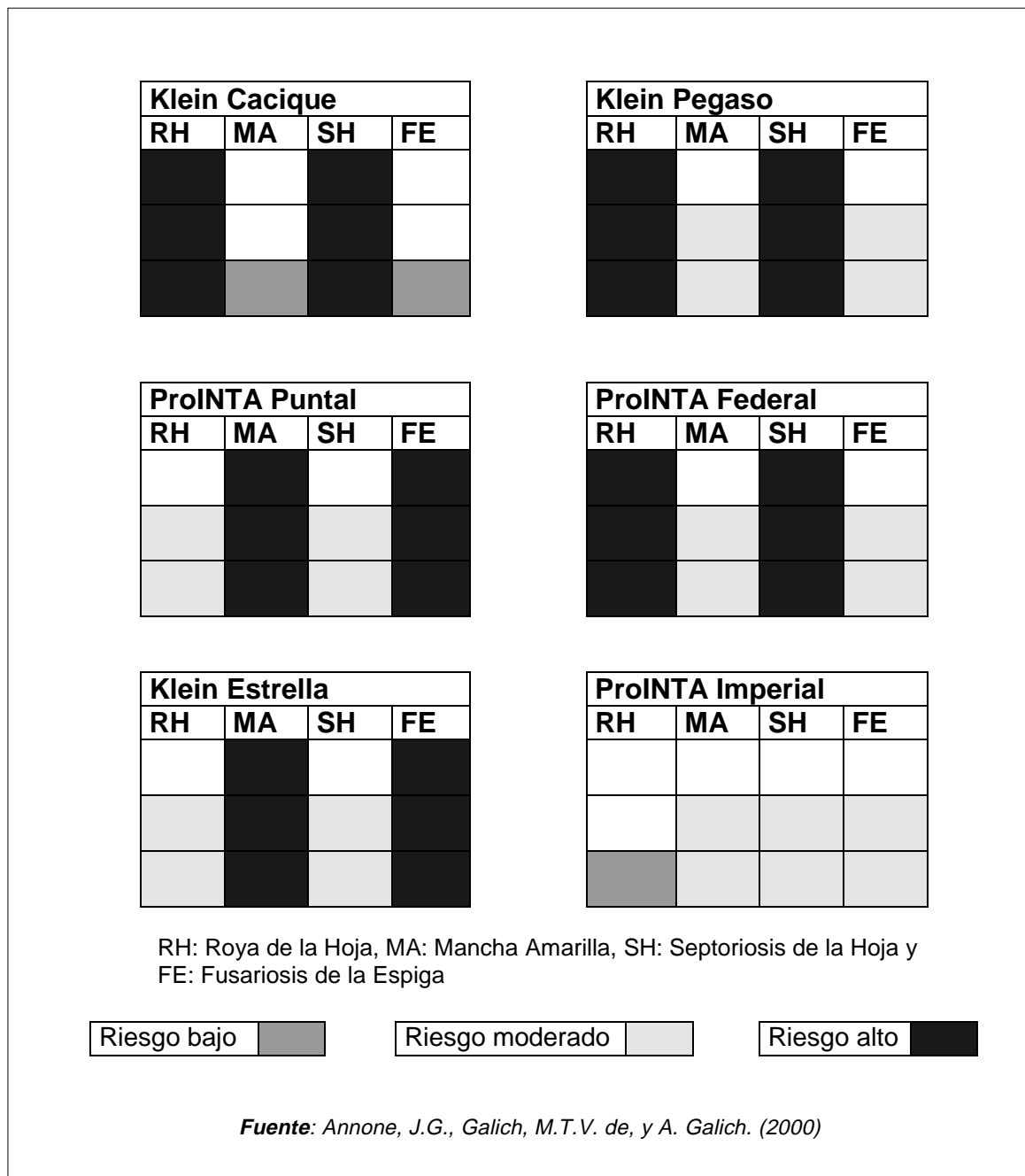


Figura 1. Perfil sanitario de algunos cultivares de trigo ampliamente difundidos con moderado a alto riesgo a manchas foliares

Bajos niveles de fertilidad

El desarrollo de enfermedades foliares en lotes de trigo con bajos niveles de fertilidad es más intenso por: 1) mayor espacio para la dispersión de agua y aire entre plantas, y por consiguiente para los propágulos de infección secundaria (conidios) de *Septoria tritici* y *Drechslera tritici-repentis*, y 2) síntomas más intensos de mancha amarilla por menor modulación de la resistencia (probablemente, mayor sensibilidad a la toxina específica producida por su agente causal).

Estos aspectos adquieren particular importancia en cultivos conducidos en siembra directa por la menor mineralización neta del nitrógeno de los residuos y del suelo (García, 1996).

El efecto de la fertilidad sobre la expresión de síntomas de manchas foliares y sobre el grado de desarrollo de los mismos puede ser claramente visualizado en situaciones reales de producción comparando la intensidad de síntomas en “parches” de alta fertilidad causados por deyecciones de animales y/o sobredosis de fertilizantes por inadecuada regulación de las máquinas fertilizadoras, con respecto a zonas del cultivo con valores subóptimos de fertilidad (Annone, 1998b).

Otros autores como Bockus y Davis (1992), sin embargo, han sugerido que los fertilizantes nitrogenados también parecen reducir la severidad de mancha amarilla en trigo aunque su efecto sería el de limitar la senescencia natural de los tejidos foliares.

Densidades de cultivo subóptimas

Las infecciones primarias de enfermedades como mancha amarilla y septoriosis de la hoja requieren de condiciones ambientales que normalmente se cumplen en etapas tempranas del cultivo (alta humedad relativa por períodos prolongados, salpicado de las gotas de lluvia y temperaturas ligeramente bajas). El desarrollo epidémico de la enfermedad a través de infecciones secundarias, es favorecido por todo tipo de solución de continuidad del cultivo que implique la posibilidad de desplazamiento de inóculo desde los sitios de infección primaria (hojas basales) hacia las hojas superiores. Como los medios más importantes de movimiento de inóculo secundario durante el período de autoinfección para patógenos como *Septoria tritici* y *Drechslera tritici-repentis* son, precisamente, el salpicado de las gotas de lluvias y el viento, cualquier tipo de falla derivada del valor cultural de la semilla, de la máquina sembradora, de la estrategia de producción de macollos del cultivar empleado, entre los principales, predispone a un mayor desarrollo del complejo de manchas foliares. Este fenómeno puede ser observado en su máxima expresión en los bordes del cultivo o en cultivos “ralos” donde la altura e intensidad de los síntomas alcanzan niveles de consideración en contraposición con la situación que puede verse en el interior del cultivo (Annone, 1998b).

Lovell y colaboradores (1997) presentaron evidencia sobre los efectos del cultivar, dosis de nitrógeno, y fecha de siembra sobre la estructura del cultivo y por consiguiente sobre la dispersión vertical de conidios de *Septoria tritici* en trigo.

En Irlanda, Bannon y Cooke (1997) demostraron la importancia del trébol en interseembra con trigo para limitar la dispersión vertical de inóculo de *Septoria tritici* desde las hojas basales de trigo hacia las superiores.

Estrategias de manejo para reducir el riesgo sanitario

Rotación de cultivos

La rotación de cultivos afecta la fase de supervivencia de los organismos fitopatógenos de hábito parásito facultativo.

Como planteaban Cook y Veseth (1991), la rotación de cultivos es uno de los factores más trascendentes para la productividad y la sanidad de los cultivos.

Rees (1981) puntualizó que uno de los principales medios de controlar la mancha amarilla del trigo en Australia era evitar plantar sobre restos de cultivo de trigo y que, por lo tanto, la rotación proveía un medio adecuado de manejo de la enfermedad.

En la rotación de cultivos se apunta a suprimir todo tipo de sustrato de la planta hospedante aprovechando la natural descomposición que produce la microflora natural, razón por la cual algunos investigadores como Cook y Baker (1983) lo incluyen como medida de control biológico.

Los microorganismos fitopatógenos que pueden ser afectados por las rotaciones son aquellos que: 1) son ineficientes en su forma de dispersión a grandes distancias, 2) poseen un rango restringido de hospedantes voluntarios, y 3) no presentan estructuras de resistencia de prolongada longevidad (Reis y Medeiros, 1995)

Reis y Medeiros (1995) presentaron evidencia sobre la importancia de sólo un año de rotación sin trigo con respecto a monocultivo en la severidad de manchas foliares sobre el cultivar BR 23, con valores de 1,6 % y 28,8 %, respectivamente.

En el caso particular de Argentina, las secuencias de cultivo trigo/soja-maíz, trigo/soja-soja de primera, trigo/soja-girasol o soja de primera-maíz, trigo-soja de primera o maíz, para el área norte de la región triguera y trigo-girasol, trigo-maíz y trigo-papa en el área sur, posibilitan una alternativa al monocultivo, y por consiguiente, reducen el riesgo por patógenos necrotróficos causantes de manchas foliares con respecto a las situaciones de monocultivo de trigo.

Uso de cultivares con resistencia parcial a patógenos causantes de manchas foliares:

Uso de cultivares “moderadamente resistentes”

Los organismos responsables de enfermedades asociadas a la siembra directa son, como fuera mencionado, principalmente parásitos facultativos. La expresión de la resistencia genética a patógenos foliares necrotróficos del trigo como *Drechslera tritici-repentis* y *Septoria tritici* es de tipo parcial o incompleta, no de inmunidad. La resistencia a esta clase de patógenos todavía es limitada aunque está disponible en un número creciente de cultivares. En Argentina existen varios cultivares con un nivel de protección genética aceptable para su uso en siembra directa. En la Figura 2 se presentan ejemplos de ese tipo de materiales genéticos en base a información elaborada por Annone et al. (2000)

Uso de fungicidas

Los fungicidas ofrecen una herramienta complementaria a la resistencia genética disponible. El efecto de estos compuestos se suma a la capacidad de los cultivares moderadamente resistentes para limitar el desarrollo de las enfermedades. Los compuestos fungicidas empleados a tal efecto son de acción sistémica y considerablemente específica.

El nivel de eficacia de estos fungicidas varía según el patógeno foliar que se considere. En general, la eficacia de control sobre *Puccinia recondita* y *Septoria tritici* es alta y sobre *Drechslera tritici-repentis* es moderada (Annone, 1996b).

La oferta de formulaciones fungicidas se ha ampliado considerablemente durante los últimos años. Su uso en escenarios productivos de siembra directa compensa el déficit de protección genética para parásitos facultativos.

Los fungicidas son utilizados como “curasemillas” y/o tratamientos de cobertura con equipos terrestres o aéreos.

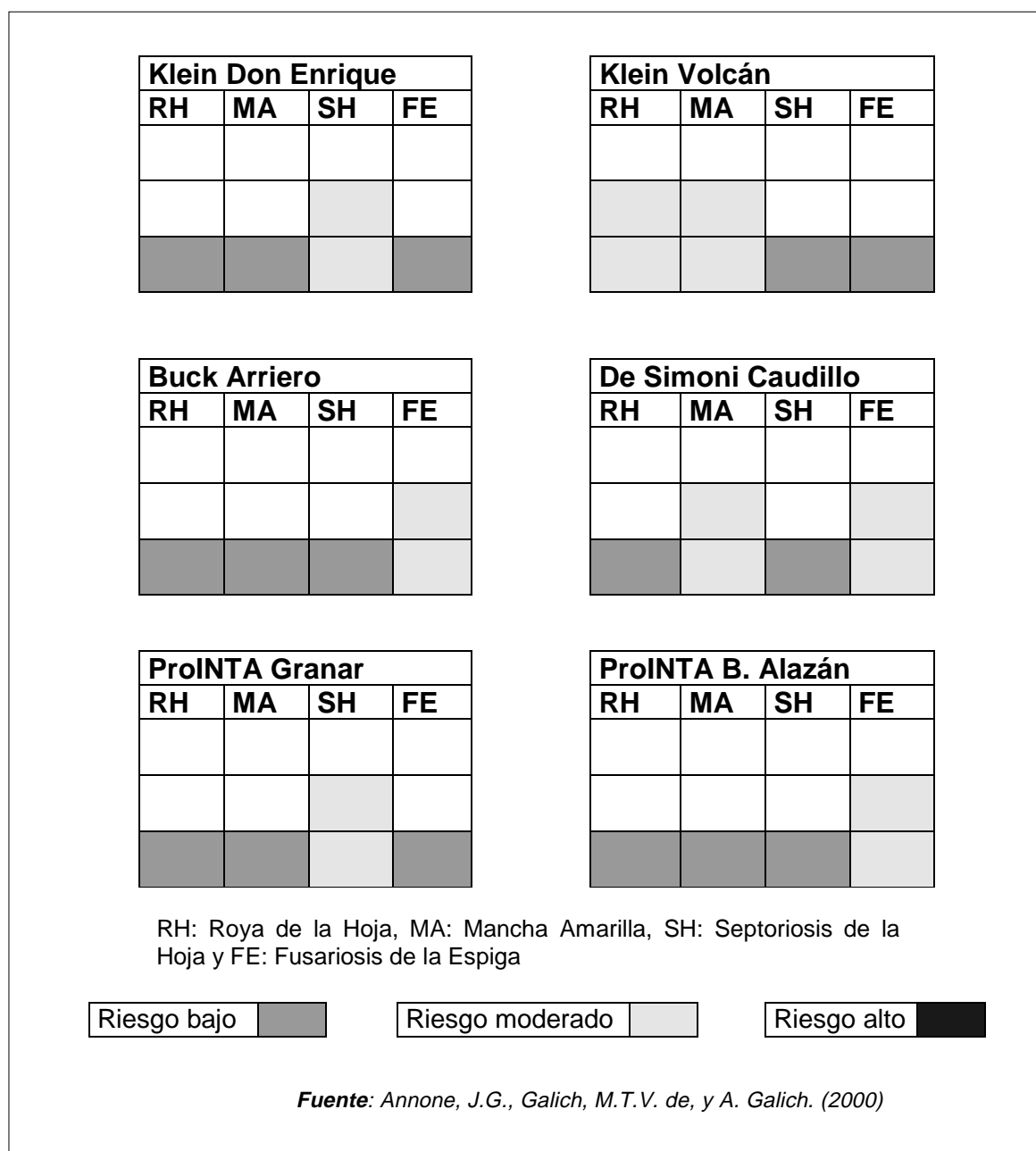


Figura 2. Perfil sanitario de algunos cultivares de trigo de bajo a moderado riesgo a manchas foliares

Kohli y Reis (1994) puntualizaron la importancia del tratamiento de semillas para evitar la introducción de patógenos como *D. tritici-repentis* a campos no infectados y describieron varios compuestos y mezclas de compuestos fungicidas que demostraron ejercer una considerable eficiencia de control (Iminoctadina, Iprodione, Difenconazol+Guazatina, Difenconazol+Iprodione, Guazatina y Difenconazol).

Carmona (1996), por su parte, reportó el efecto de compuestos como Guazatina, Iprodione, Imazalil, Procloraz, Triadimenol, Tebuconazol y Triticonazol sobre especies de *Drechslera*.

En ensayos conducidos en la EEA INTA de Marcos Juárez durante los años 1992 y 1993, Galich y Galich (1994) determinaron que los fungicidas con mayor eficacia para limitar el desarrollo de la mancha amarilla fueron Tebuconazol, Flutriafol, Fluzilazol y Propiconazol. Por su parte, Annone y colaboradores (1995) analizaron el efecto de un grupo limitado de fungicidas sistémicos sobre la enfermedad observando que Tebuconazol y Flutriafol, y en menor medida Prochloraz, redujeron la intensidad de las lesiones aunque con niveles de eficacia de control que fluctuaron entre 50 y 70 % según cultivar y cantidad de residuos de trigo en superficie.

Annone y colaboradores (1998) presentaron resultados de experiencias conducidas con compuestos fungicidas para el control de mancha amarilla en siembra directa (Cuadro 3).

Cuadro 3. Eficacia de control de fungicidas sobre el desarrollo de síntomas de mancha amarilla (MA) en las dos hojas superiores de trigo

Formulación, dosis y momento de aplicación	Nivel de severidad de MA en las dos hojas superiores del testigo	Eficacia de control (Abbott)
Tebuconazol 25 %, 500 ml/ha, inicio de floración	30 %	73 %
Tebuconazol 25 %. 500 ml/ha, 500 ml/ha, floración	31 %	74 %
Prochloraz 45 %, 1000 ml/ha, inicio de floración	30 %	37 %
Prochloraz 45 %, 1000 ml/ha, floración	31 %	47 %
Propiconazol 9%-Prochloraz 45%, 1000 ml/ha, inicio de floración	30 %	37 %
Propiconazol 9%-Prochloraz 45%, 1000 ml/ha, inicio de floración	31 %	67 %
Epoxiconazol 12.5%-Carbendazim 12.5 %, 1000 ml/ha, floración	31 %	74 %
Epoxiconazol 12.5%-Carbendazim 12.5 %, 1000 ml/ha, hoja bandera	27 %	85 %
Epoxiconazol 12.5%-Carbendazim 12.5 %, 1000 ml/ha, espigazón	31 %	80 %
Flutriafol 12.5 %, 750 ml/ha, floración	31 %	48 %
Azoxistrobina 25 %, 500 ml/ha, floración	24 %	94 %
Azoxistrobina 25 %, 500 ml/ha, floración	24 %	94 %
Difenoconazol 25 %-Propiconazol 25 %, 250 ml/ha, hoja bandera	30 %	60 %
Difenoconazol 25 %-Propiconazol 25 % + Carbendazim 12.5 %, floración	30 %	67 %

Fuente: Annone et al., 1998

En Uruguay, Díaz (1996) evaluó un gran número de compuestos fungicidas para el control de la septoriosis de la hoja entre los que se destacaron Epoxiconazol, Tebuconazol, Flusilazol, Ciproconazol y Propiconazol. En ese mismo estudio se corroboró el efecto del tratamiento curasemillas con Triticonazol sobre el desarrollo de síntomas en etapas tempranas del cultivo.

En lo referente a la estría bacteriana causada por *X. campestris pv undulosa*, las alternativas para el manejo de la enfermedad son considerablemente limitadas en número y efectividad. El medio más efectivo para proteger al futuro cultivo de la acción de la bacteria es evitar incorporarla a través de la semilla, principal fuente de inóculo primario. Para ello se debe disponer de semilla libre de bacterias o con niveles que no superen las 1000 unidades formadoras de colonias/gramo de semilla ya que los tratamientos para controlarla son o poco efectivos o poco factibles de emplear a nivel de lote de

producción (Kohli y Annone, 1996). Este criterio fue desarrollado por Schaad y Forster (1985) y también adoptado por Mehta et al. (1992) quienes observaron que 38 de 50 cultivares de trigo analizados cuya severidad de síntomas foliares era inferior a 10 por ciento producían semillas cuyo análisis no superaban las 1.000 unidades formadoras de colonia y arrojaban resultados negativos cuando eran analizados mediante la prueba de inyección.

Con el fin de eliminar el inóculo *X. campestris* patovar. *undulosa* de las semillas se han propuesto un número considerable de tratamientos, la mayoría de ellos de moderada eficacia para el control de una bacteria y de limitada aplicabilidad a condiciones reales de producción. Así, Forster y Schaad (1988) propusieron el tratamiento de las semillas con acetato cúprico acidificado, Fourest et al. (1990) el calor seco a 70-80 ° C por 7 a 14 días, ambos métodos sólo factibles de usar con partidas pequeñas de semilla.

Por su parte, Mehta y Bassoi (1993) comprobaron la eficacia del tratamiento de las semillas con una formulación a base de 33 % de Guazatina y 2 % de Imazalil. Estos investigadores plantearon varias estrategias complementarias al tratamiento de las semillas para reducir el desarrollo de la enfermedad tales como: 1) los lotes que muestran más del 10 por ciento del área foliar afectada en la etapa de floración no deben ser destinados a la producción de semilla, 2) deben cosecharse primero los lotes sanos y luego los afectados dado que a través de la maquinaria se pueden contaminar las semillas, 3) aquellos lotes de semilla en los que se demuestra la presencia de la bacteria no deben ser destinados para su uso en áreas con riego, y 4) los granos provenientes de lotes infectados deben ser sometidos a secado a bajas temperaturas (35-40 ° C).

Medidas de control cultural

En siembra directa, la mayor proporción de inóculo que puede alcanzar al cultivo se encuentra en el mismo lote de producción en forma superficial o subsuperficial. En el caso particular de algunos de los principales microorganismos patógenos para el sistema (parásitos facultativos) como *X. campestris* pv *undulosa*, *S. tritici* y *D. tritici-repentis*, la dispersión de inóculo secundario a través del viento y el salpicado de la lluvia cumple un papel de importancia en el desarrollo epidémico de las enfermedades que causan. Por tales razones, cualquier medida que directa o indirectamente reduzca la posibilidad del desplazamiento de inóculo secundario entre plantas y entre los estratos inferiores y superiores del cultivo, aporta a reducir el nivel final de síntomas y por consiguiente los efectos de las enfermedades sobre los rendimientos y la calidad.

Algunas de las medidas que se deben considerar a tal efecto son:

1. Ajuste de densidad de siembra en función del peso de grano y estrategia de macollaje del cultivar utilizado.
2. Fertilización balanceada a los fines de producir una estructura de cultivo compacta.
3. Menor distancia posible entre líneas.
4. Adecuación de fecha de siembra del cultivar para obtener la mayor densidad posible.

El efecto de algunas de estas medidas, como es el caso de la fertilización foliar, puede observarse en los Cuadros 4.1 y 4.2. en los que se demuestra que la fertilización nitrogenada por esa vía fue asociada a un menor nivel de síntomas en las hojas superiores del cultivo aportando al rendimiento y a la calidad. En los mismos cuadros también se visualiza como este efecto, aunque de limitada magnitud, puede ser aprovechado como base para maximizar el potencial de protección que confiere la aplicación de un compuesto fungicida eficaz sobre el agente causal involucrado.

Cuadro 4.1. Efecto de la nutrición mineral y la protección química sobre el desarrollo de la mancha amarilla del trigo en siembra directa

Tratamientos	Dosis de formulación comercial/ha	Momento de aplicación
1. Testigo sin tratar	-----	-----
2. N 10-P 4-K 7 (+ microelementos)*	2000 cc	Encañazón
3. N 10-P 4-K 7 (+ microelementos) + Epoxiconazol 12.5%-Carbendazim 12.5%	2000 cc + 750 cc	Encañazón
4. N 10-P 4-K 7 (+ microelementos)	2000 cc	Hoja bandera
5. N 10-P 4-K 7 (+ microelementos) + Epoxiconazol 12.5%-Carbendazim 12.5%	2000 cc + 750 cc	Hoja bandera
6. Epoxiconazol 12.5%-Carbendazim 12.5%	750 cc	Hoja bandera

*: *Nitrofoska foliar A.*

Cuadro 4.2. Efecto de la nutrición mineral y la protección química sobre el desarrollo de la mancha amarilla del trigo en siembra directa

Tratamientos	Severidad de mancha amarilla en las dos hojas superiores (%)	Rendimiento (kg/ha)	Contenido de proteína en el grano (%)
1	35.4 A ¹	1865 C ¹	11.7 B ¹
2	26.3 B	2269 B	11.7 B
3	25.7 B	2697 A	12.5 AB
4	14.6 C	2445 AB	13.7 A
5	10.8 D	2601 A	12.9 AB
6	10.3 D	2748 A	13.3 A
DMS (0.05)	3.7	309	1.4
CV (%)	11.9	8.4	7.4

1: Los valores seguidos de una misma letra no difieren significativamente al nivel del 0.05 según la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS)

Fuente: García y Annone, 1997, datos no publicados.

Literatura citada

ANNONE, J.G. 1985. Presencia de la «mancha tostada» del trigo (*Helminthosporium tritici-repentis*). Carpeta de Producción Vegetal. TRIGO. TOMO VII. Inf. N° 88. EEA INTA. Pergamino, Bs As.

_____.1995. Enfermedades del trigo poco evidentes pero de alto riesgo potencial. In: 1° Congreso Regional de Trigo. Centro Regional de Ingenieros Agrónomos de Tres Arroyos y Chac Experimental de Barrow. Cooperativa Agraria de Tres Arroyos. Tres Arroyos, Buenos Aires. 4 de mayo de 1995. 2 p.

_____.1996 a. Principales enfermedades foliares del trigo en siembra directa: Importancia y medidas de protección. In: Curso de Siembra Directa. Subprograma

- Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola (PROCISUR)-INTA. EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. 29 al 31 de octubre de 1996. 12 p.
- _____. 1996 b. Experiencias de tratamientos con fungicidas en trigo en el norte de la provincia de Buenos Aires. **In:** Primera Jornada de Control Químico de Enfermedades del Trigo en Sistemas de Manejo de Alta Productividad. CIC "Dr Norman Borlaug" INTA/CIMMYT- CRBAN/INTA- Programa Trigo de CIMMYT para el Cono Sur-Proyecto IPG/INTA. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 27 y 28 de junio de 1996. 7 p.
- _____. 1998 a. Aspectos sanitarios del cultivo de trigo en siembra directa: Particularidades de la relación trigo-microorganismos patógenos en el sistema y estrategias de protección para reducir sus efectos sobre la producción. **In:** Actas del IV Congreso Nacional de Trigo y II Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-invernal. Unidad Intergrada Balcarce, EEA INTA y Facultad de Ciencias Agrarias UNMDP. Mar del Plata, 11 al 13 de noviembre de 1998. Conferencias. 6-08. 4 p.
- _____. 1998 b. Tan Spot of Wheat in Argentina: Importance and Disease management Practices. **In:** Duveiller, E., H.J. Dubin, J. Reeves, and A. McNab, eds. 1998. Helminthosporium Blights of Wheat: Spot Blotch and Tan Spot. México, D.F.: CIMMYT. p. 339-345.
- _____; CALZOLARI, A.; POLIDORO, O. y CONTA, H. 1991. Efecto de la "mancha de la hoja" causada por *Septoria tritici* sobre el rendimiento. Carpeta de Producción Vegetal. TRIGO. TOMO X. Inf. N° 122. EEA INTA Pergamino
- _____; CONTA, H.; POLIDORO, O. y CALZOLARI, A. 1993. Información adicional sobre el efecto de la "mancha de la hoja" causada por *Septoria tritici* sobre el rendimiento. Carpeta de Producción Vegetal. TRIGO. TOMO XI. Inf. N° 146. EEA INTA Pergamino.
- _____; BOTTA, G. e IVANCOVICH, A. 1994a. Ocurrencia de la mancha bronceada del trigo en el área norte de la provincia de Buenos Aires. **In:** III Congreso Nacional de Trigo y I Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-invernal. Dpto de Agronomía, Universidad Nacional del Sur - Asociación de Ingenieros Agrónomos del Norte de la Provincia de Buenos Aires. Bahía Blanca, Buenos Aires. 26-28 de octubre de 1994. p. 205-207.
- _____; GACITÚA, H.; PORFIRI, A. e IVANCOVICH, A. 1994b. Estimación del efecto de enfermedades foliares y de la espiga sobre el rendimiento mediante la comparación de tratamientos con un fungicida sistémico versus no tratados. Carpeta de Producción Vegetal. TOMO XII. TRIGO. Inf. N°156. EEA INTA. Pergamino, Buenos Aires.
- _____; TRUJILLO ROJAS, E. y LAZARTE, R. 1995. Evaluación del efecto de compuestos fungicidas sobre el desarrollo de enfermedades foliares y de la espiga. Carpeta de Producción Vegetal. TRIGO. TOMO XIII. Inf 161. EEA INTA. Pergamino, Bs As.
- _____ y KOHLI, M.M. 1996. Principales enfermedades del trigo asociadas con la siembra directa en Argentina: Importancia y medidas de protección. **In:** Trabajos Presentados. IV Congreso Nacional de Siembra Directa: Una Estrategia para Todos. AAPRESID. Villa Giardino, Córdoba, Argentina. 27 al 30 de marzo de 1996. pp. 135-159.
- _____; GARCÍA, R.; BOTTA, G. e IVANCOVICH, A. 1998. Los fungicidas: su importancia en el manejo de enfermedades parasitarias del trigo. Revista de Tecnología Agropecuaria. Vol. III. N° 8 : 18-24
- _____; GALICH, M.T.V. DE, y GALICH, A. 2000. Perfil sanitario de cultivares. Cuadernillo de Trigo. Agromercado N° 44: 17-19

- BANNON, F.J. and COOKE, B.M. 1997. Studies on spore dispersal of *Septoria tritici* in wheat-clover intercrops. **In:** Programme Abstracts of the 15th Long Ashton International Symposium. Understanding pathosystems: A focus on *Septoria*. IACR-Long Ashton Research Station, Bristol, England. 15-17 September 1997.
- BOCKUS, W.W. and DAVIS, M.A. 1992. Effect of nitrogen fertilizer on severity of tan spot of winter wheat. **In:** L.J. Francl, J.M. Krupinsky and P. McMullen (Eds.). Proceedings of the Second International Tan Spot Workshop. Advances in Tan Spot research. Fargo, North Dakota, USA. June 24-26, 1992.
- CARMONA, M. 1996. Patógenos de semillas de trigo: importancia y control químico. **In:** Primera Jornada de Control Químico de Enfermedades del Trigo en Sistemas de Manejo de Alta Productividad. CIC "Dr Norman Borlaug" INTA/CIMMYT-CRBAN/INTA- Programa Trigo de CIMMYT para el Cono Sur-Proyecto IPG/INTA. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 27 y 28 de junio de 1996. 11
- COOK, R.J. and BAKER, K.F. 1983. The nature and practices of biological control of plant pathogens. St. Paul, The American Phytopathological Society. 1983. 539 p.
- _____ and VESETH, R.J. 1991. Wheat health management. Plant Health Management Series. APS Press. 152 p.
- CORDO, C.A.; PERELLÓ, A.; ALIPPI, H. Y ARRIAGA, H. 1991. Presencia de *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schroeter teleomorfo de *Septoria tritici* Rob. *apud* Desm. en trigos maduros de la Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía. Tomos 66/67: 49-55.
- DÍAZ DE ACKERMANN, M. 1995. Chemical control of *Septoria tritici* on spring wheat. **In:** Gilchrist S., L., M. Van Ginkel, A. McNab and G.H.J. Kema (Eds). 1995. Proceedings of a *Septoria tritici* Workshop. CIMMYT, México, D.F., México. p. 147-150
- _____ 1996. Mancha foliar causada por *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel)Schroeter estado perfecto de *Septoria tritici* Rob ex desm. . **In:** Kohli, M.M., J.G. Annone y R. García (eds) 1996. Las enfermedades del trigo en el Cono Sur. Curso de Manejo de Enfermedades del Trigo. Pergamino, Argentina. p. 100-117.
- EYAL, Z.; SCHAREN, A.L.; PRESCOTT, J.M. y VAN GINKEL, M. 1987. Enfermedades del trigo causadas por *Septoria*: Conceptos y métodos relacionados con el manejo de estas enfermedades. CIMMYT, México, D.F., México. 52 p.
- FERNÁNDEZ VALIELA, M.V., 1975. Introducción a la Fitopatología, 3^o edición. Vol. II: Bacterias, Fisiogénicas, Fungicidas y Nematodos. Colección Científica del INTA, Tomo VII, Buenos Aires, 821 p.
- FORSTER, R.L. and SCHAAD, N.W. 1988. Control of black chaff of wheat with seed treatment and a foundation seed health program. Plant Dis. 72: 935-938.
- FOUREST, E.; REHMS, L.D.; SANDS, D.C.; BJARKO, M., and LUND, R.E. 1990. Eradication of *Xanthomonas campestris* pv. *translucens* from barley seed with dry heat treatments. Plant Dis. 74: 816-818.
- GALICH, A.; GALICH, M.T.V. DE; LEGASA, A. y MUSSO, G. 1986. Estimación de pérdidas por enfermedades foliares en cultivares de trigo. **In:** Capítulo IV. Congreso Nacional de Trigo. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Pp. 41-50.
- GALICH, M.T.V. DE, y GALICH, A. 1994. Enfermedades del trigo en el área sur de Santa Fe y Córdoba correspondientes a la subregión II Norte, Año 1993/94. Información para Extensión N° 5. EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.7p.

- GARCÍA, F. 1996. Dinámica del nitrógeno en ecosistemas agrícolas: Efectos de la siembra directa. **In:** Curso de Siembra Directa para Profesionales Asesores. Subprograma de Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola. Proyecto: Desarrollo de la siembra directa para la conservación de suelos del Cono Sur. EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. 29 al 31 de octubre de 1996. 13 p.
- HOSFORD, R.M., Jr. 1982. Tan Spot. p 1-24. **In:** Tan Spot of Wheat and Related Diseases. Workshop. R.M. Hosford, Jr. (ed.). North Dakota State University, Fargo. 116pp
- KOHLI, M. M.; Y.R. MEHTA & D. DE ACKERMANN, M. 1992. Spread of tan spot in the Southern Cone region of South America. **In:** L.J. Francl, J.M. Krupinsky, M.P. Mc Mullen (eds). Advances in Tan Spot. Proceedings of the Second International Tan Spot Workshop. North Dakota State University, Fargo, ND. June 25-26, 1992. p.86-90.
- _____ y Reis, E.M. 1994. Estrategias en el control de enfermedades de trigo. **In:** Congreso Nacional de Siembra Directa, 3º. Villa Giardino, Córdoba. Trabajos Presentados, Rosario, Santa Fe. AAPRESID. p. 174-192.
- KRUPINSKY, J.M. 1987. Pathogenicity on wheat of *Pyrenophora tritici-repentis* isolated from *Bromus inermis*. *Phytopathology* 77: 760-765.
- LOVELL, D.J.; PARKER, .R.; HUNTER, T.; ROYLE, D.J. and COKER, R.R. 1997. Influence of crop growth and structure on the risk of epidemics by *Mycosphaerella graminicola* in winter wheat. *Plant Pathology* 46: 126-138.
- MADARIAGA B., R. 1995. Epidemiología de *Mycosphaerella graminicola* en Chile. **In:** Gilchrist S., L., M. Van Ginkel, A. Mc Nab, and G.H.J. Kema (Eds). 1995. Proceedings of a Septoria tritici Workshop, México, D.F.: CIMMYT. p. 17-24.
- MEHTA, Y.R. 1993. Manejo Integrado de Enfermedades del Trigo. Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 314 p.
- _____ & GAUDENCIO, C.A. 1991. The effects of tillage practices and crop rotation on the epidemiology of some major wheat diseases. **In:** D.F. Saunders (ed.). Wheat for the Nontraditional, Warm Areas. Mexico, D.F.: CIMMYT. Pp. 266-283.
- _____ y BASSOI, M.C. 1993. Guazatin plus as seed treatment bactericide to eradicate *Xanthomonas campestris* pv. *undulosa* from wheat seeds. *Seed Sci. and Technol.* 21 (1): 1-16.
- NISI, J.; ANTONELLI, E.; ANNONE, J.G.; CALZOLARI, A.M.; GALICH, A. y MUJICA, F.L. 1986. Factores que incidieron en la producción de trigo en la campaña 1985/86. INTA.
- REES, R.G. 1981. Yellow spot, an important problem in the north-eastern wheat areas of Australia. **In:** R. M. Hosford (Ed.). Proceedings of the Tan Spot of Wheat and Related Diseases Workshop. North Dakota, USA. July 14-15, 1981. 3 p.
- _____; PLATZ, G.J. and MAYER, R.J. 1982. Yield losses in wheat from yellow spot: Comparison of estimates derived from single tiller and plots. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 899-908.
- REIS, E.M. and KOHLI, M.M. 1993. Wheat diseases in South America and strategies for their control. **In:** Tanner, D. (de.). Developing sustainable wheat production systems. The 8 th Regional Wheat Workshop for Eastern, central and Southern Africa. Kampala, Uganda. p. 153-163.
- _____ y MEDEIROS, C.A. 1995. Control de enfermedades de plantas por rotación de cultivos. **In:** Kohli, M.M., J.G. Annone y R. García (eds). 1996. Las enfermedades del trigo en el Cono Sur. Curso de manejo de enfermedades del trigo. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 29 al 31 de agosto de 1995. p. 53-67.

- SANDERSON, F.R. 1976. *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Sanderson com. Nov. The ascogenous state of *Septoria tritici* Rob. Ex Desm, apud. Desm. N.Z.J.Botany 14: 359-360.
- SCHAAD, N.W. and FORSTER, R.L. 1985. A semi-selective agar medium for isolating *Xanthomonas campestris* pv. *translucens* from wheat seeds. Phytopathology 75: 260-263.
- SCHILDER, A.M.C. & BERGSTROM, G.C. 1990. Variation in virulence within the population of *Pyrenophora tritici-repentis* in New York. Phytopathology 80: 84-90.
- _____ & BERGSTROM, G.C. 1992. Infection of wheat seed by and seed transmission of *Pyrenophora tritici-repentis*. In: L.J. Francl, J.M. Krupinsky & M.P. Mc Mullen (eds) Advances in Tan Spot Research. Proceedings of the Second International Tan Spot Workshop. June 25-26, 1992. North Dakota State University, Fargo, N.D. p. 56-60.
- SHARP, E.L., SALLY, B.K. and Mc NEAL, F.H. 1976. Effect of *Pyrenophora* wheat leaf blight on the thousand kernel weight of 30 spring wheat cultivars. Plant Dis. Repr. 60: 135-138.
- WIESE, M.W. 1977. Compendium of wheat diseases. The American Phytopathological Society. 106 p.
- WRIGHT, K.H. & SUTTON, J.C. 1990. Inoculum of *Pyrenophora tritici-repentis* in relation to epidemics of tan spot of winter wheat in Ontario. Can. J. Plant Pathol. 12: 149-157.
- ZADOKS, J.C. and SCHEIN, R.D. 1979. Epidemiology and plant disease management. New York, Oxford Univeristy Press. 427 p.
- ZILLINSKY, F.J. 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, El Batán, México.



**Fauna e
insectos
plaga y
benéficos**

Manejo de la fauna del suelo e insectos plaga*

por Enrique Castiglioni**

Introducción

Como respuesta a los efectos negativos causados por la agricultura tradicional con laboreo, principalmente la erosión de los suelos, a nivel mundial se ha producido un desarrollo sostenido de la siembra directa de cultivos, con el objetivo de lograr sistemas biológica y económicamente sustentables en tiempo y espacio.

A partir de la introducción de los herbicidas a fines de la década de '40 y comienzos de '50, y con los posteriores avances de esta tecnología, como alternativa al laboreo para la supresión de los enmalezamientos, el cero laboreo y los laboreos reducidos o mínimos van ganando un espacio creciente en los sistemas productivos.

El laboreo es un factor determinante de la distribución y abundancia de los organismos invertebrados. Sin embargo, el mismo interactúa significativamente con otras prácticas agronómicas, en la forma en que afecta a las comunidades de invertebrados y los roles desempeñados por la fauna en los ecosistemas agrícolas.

Entre los factores que interactúan con el laboreo y que tienen incidencia en la dinámica de la fauna del suelo se incluyen el rastrojo en superficie («mulch»), las aplicaciones de fertilizantes inorgánicos, la presencia de leguminosas en los sistemas de pasturas, la distribución, época y sistema de siembra, el manejo de los cultivos de cobertura, el sistema de rotación y la secuencia de cultivos.

Cuando los sistemas de laboreo conservacionistas fueron introducidos, se pensó, *a priori*, que serían acompañados de un aumento en la severidad de las plagas, especialmente los insectos habitantes del suelo. Entre los factores que pueden modificar esta previsión, se destacan el efecto del sistema de laboreo sobre los enemigos naturales de aquéllas y sobre los procesos de descomposición de la materia orgánica y los ciclos de los nutrientes. La previsión de los cambios en las comunidades de artrópodos en función del uso del suelo, en el largo plazo, es una tarea difícil, dada la complejidad de factores que involucra (Usher, 1993).

El laboreo, o la falta del mismo, ejerce influencia en los habitantes del suelo a través de tres mecanismos principales: la perturbación mecánica, la disposición espacial de los residuos vegetales y los efectos en las comunidades de las malezas.

* Trabajo presentado en el Curso "Siembra sin laboreo de cultivos y pasturas". Casa de la Universidad, Paysandú, Marzo de 1999. Facultad de Agronomía – Unidad de Educación Permanente y Posgrado, INIA y PROCISUR – Subprograma Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola.

** Ing. Agr., Facultad de Agronomía, Ruta 3, km. 373, Paysandú, Uruguay. E-mail: bebecast@adinet.com.uy

Establecer, entonces, medidas de manejo de la fauna del suelo y de insectos plaga es, en definitiva, todo uno, desde que normalmente son las propias medidas de manejo del suelo que determinan que parte de los integrantes de la fauna del mismo alcancen nivel de plaga. El manejo integrado de plagas sigue el principio fundamental del manejo del ambiente de las mismas (Gravena, 1995), principio que propone condicionar el agroecosistema a un equilibrio más estable, manteniendo la cobertura vegetal, con plantas de hoja ancha que produzcan flores y proporcionen condiciones de reproducción y desarrollo a los enemigos naturales de las plagas (Macedo y Martins, 1998).

Antecedentes

Los insectos, en cuanto organismos vivos, pueden ser agrupados según dos tipos de estrategias de supervivencia. Los animales considerados como estrategias «r» se desarrollan rápidamente, tienen altas tasas reproductivas y son hábiles colonizadores de las plantas, pudiendo causar daños severos en períodos cortos de tiempo, migrando cuando las condiciones se tornan desfavorables. Es el caso, por ejemplo, de pulgones, lagartas y ácaros. Los animales caracterizados como estrategias «K» son especializados, y poseen, en general, bajas tasas reproductivas y largos ciclos de desarrollo. El tamaño de sus poblaciones aumenta con lentitud, como en el caso de isocas, grillos, gusanos alambre, ciempiés y babosas.

En los sistemas simplificados, los estrategias «r» compiten con éxito, de tal forma que muchas plagas agrícolas se incluyen en esta categoría, siendo en general, insectos pequeños que pueden dispersarse por grandes distancias y frecuentemente están presentes en el cultivo de inmediato a la emergencia de las plantas. Para este tipo de estrategias, que ocurren frecuentemente en áreas cultivadas con una especie vegetal, la diversificación de cultivos es el factor más importante de prevención de sus explosiones poblacionales.

La estrategia de los animales caracterizados como «K», es diferente, y la propia estabilidad del sistema favorece su desarrollo poblacional, muchas veces con relativa independencia de la o las especies vegetales empleadas en la secuencia. Los insectos del suelo son, en su amplia mayoría, animales que emplean esta estrategia.

En el estudio de la evolución de 35 especies de insectos plaga, sin embargo, fue determinado que apenas 24 por ciento de ellas provocaría mayor daño en sistemas de siembra directa (Kuhlman y Steffy, 1982).

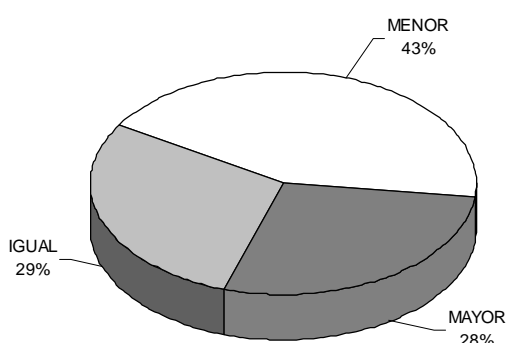


Figura 1. Incidencia de plagas en siembra directa: 51 casos. (Adaptado de Stinner & House, 1990)

La revisión de trabajos sobre 51 especies de artrópodos en diferentes lugares del mundo, determinó una conclusión similar. Se registró un aumento del problema de plagas para el 28% de los casos estudiados, mientras que en el 29% no hubo una modificación significativa y en el 43% restante el daño resultó reducido (Stinner y House, 1990). (Figura 1)

Trabajos realizados en Costa Rica permitieron concluir que el manejo sin laboreo del maíz

determinó un daño apreciablemente menor de insectos plagas que en los sistemas de laboreo convencional (Stinner y House, 1990).

Las generalizaciones, sin embargo, no resultan de utilidad para los sistemas de producción particulares, en los cuales son necesarios estudios de la evolución de los integrantes específicos de la fauna regional o local. En un primer nivel, por ejemplo, el clima más cálido del norte de Brasil, favorece los daños causados por gusanos alambre y termitas, mientras que en el sur estos insectos no son tan importantes y adquieren más importancia las larvas de *Diabrotica* spp. (Gassen, 1996).

Algunos de los primeros estudios que relacionaron el sistema de laboreo con la evolución de la fauna de suelo fueron realizados en Ohio, donde el aumento de plagas del suelo fue asociado con las prácticas de cero laboreo (Musick, 1970). Posteriormente, sin embargo, se encontró que aún cuando fueron registradas tres a cuatro veces más huevos de la plaga clave de maíz, *Diabrotica longicornis* en los sistemas de siembra directa, la sobrevivencia y el consecuente daño de las larvas a las raíces fue similar o menor que el de los sistemas de laboreo convencional, indicando una mayor mortalidad en la situación de no laboreo (Musick y Collins, 1971).

La información de países vecinos que resume algunas observaciones en la evolución de diferentes artrópodos en el pasaje de los sistemas tradicionales con laboreo a los sistemas de siembra directa, indica que las poblaciones de algunas especies aumentan y otras disminuyen, siendo que en general los enemigos naturales se encuentran en el primer grupo (Cuadro 1) (Luff y Woiod, 1993).

Cuadro 1. Resumen de las tendencias poblacionales de algunos artrópodos en sistemas de laboreo convencional (LC) y siembra directa (SD).

	Abundancia según sistema		
	SD	LC	Enemigos Naturales en SD
<i>Agrotis ipsilon</i>	+	-	+
ISOCAS (*)	+	-	+
<i>Phytalus sanctipauli</i>	-	+	?
GORGOS (**)	+	-	+
Diplopoda (milpiés)	+	-	+
<i>Pseudaletia sequax</i>	+	-	+
HORMIGAS	+	-	?
CHINCHES	+	-	+
<i>Elasmopalpus lignosellus</i>	-	+	+
<i>Spodoptera frugiperda</i>	-	+	+
<i>Diabrotica speciosa</i>	-	+	+
Pulgones	-	+	+

(*) *Diloboderus abderus*, *Cyclocephala flavipennis* (**) *Listronotus bonariensis*, *Pantomorus* spp., *Sternechus subsignatus*

Fuente: Bianco, 1985; Carvalho, 1991; Gassen, 1992, 1993, 1996; Aragón, 1996.

Otros trabajos confirman la menor incidencia de lagarta elasmopalpus, pulgones y larvas de *Diabrotica speciosa*, y el aumento de los daños provocados por chinchas y trips, pero también determinan mayor incidencia de *Spodoptera frugiperda* en maíz (Bianco, 1998).

La predominancia de las especies es una resultante de la forma en que las medidas de manejo afectan el complejo sistema de relaciones que se establece entre los habitantes del ambiente suelo (Primavesi, 1988). (Figura 2)



Figura 2.
Esquema de la cadena alimenticia de los organismos habitantes del suelo. (Primavesi, 1988, adaptado de Balogh, 1958)

La ausencia de laboreo puede favorecer el desarrollo de algunas plagas, pero a la vez propicia un ambiente favorable para la persistencia de hongos, bacterias y virus entomopatogénicos, controladores de plagas (Bianco, 1998).

Si bien la siembra directa puede favorecer la evolución de algunos organismos considerados plagas, el aumento de las poblaciones de organismos benéficos es un resultado frecuente en sistemas de laboreo reducido y en los ambientes donde ocurre mayor diversificación vegetal. Puede verificarse que muchas veces la diversidad vegetal de los sistemas de siembra directa es ambiente favorable para el desarrollo de mayores poblaciones de especies polípagas (Figura 3).

En el caso del gorgojo *Sternechus subsignatus*, su incidencia es mayor en los cultivos de soja realizados en siembra directa, cuando comparados con los cultivos laboreados (Silva y Klein, 1997), pero sus poblaciones y daños disminuyen cuando la soja se incluye en una rotación de cultivos que incluya especies en las cuales su ciclo de desarrollo se ve perjudicado (Silva, 1997; Silva, 1996).

La situación nacional

El sistema de producción agrícola ganadero uruguayo tiene características especiales que lo diferencian de los agroecosistemas típicamente cerealeros o ganaderos del mundo. En la rotación cultivo-pastura coexisten cultivos sembrados anualmente con áreas que permanecen con pocas modificaciones durante varios años, como las pasturas sembradas y el campo natural, sólo perturbadas por el pastoreo del ganado (Alzugaray et al).

La condición nativa de muchos insectos de suelo (incorporadores de materia orgánica y nutrientes), como isocas y gorgojos, se transformó hacia una situación de plaga con el

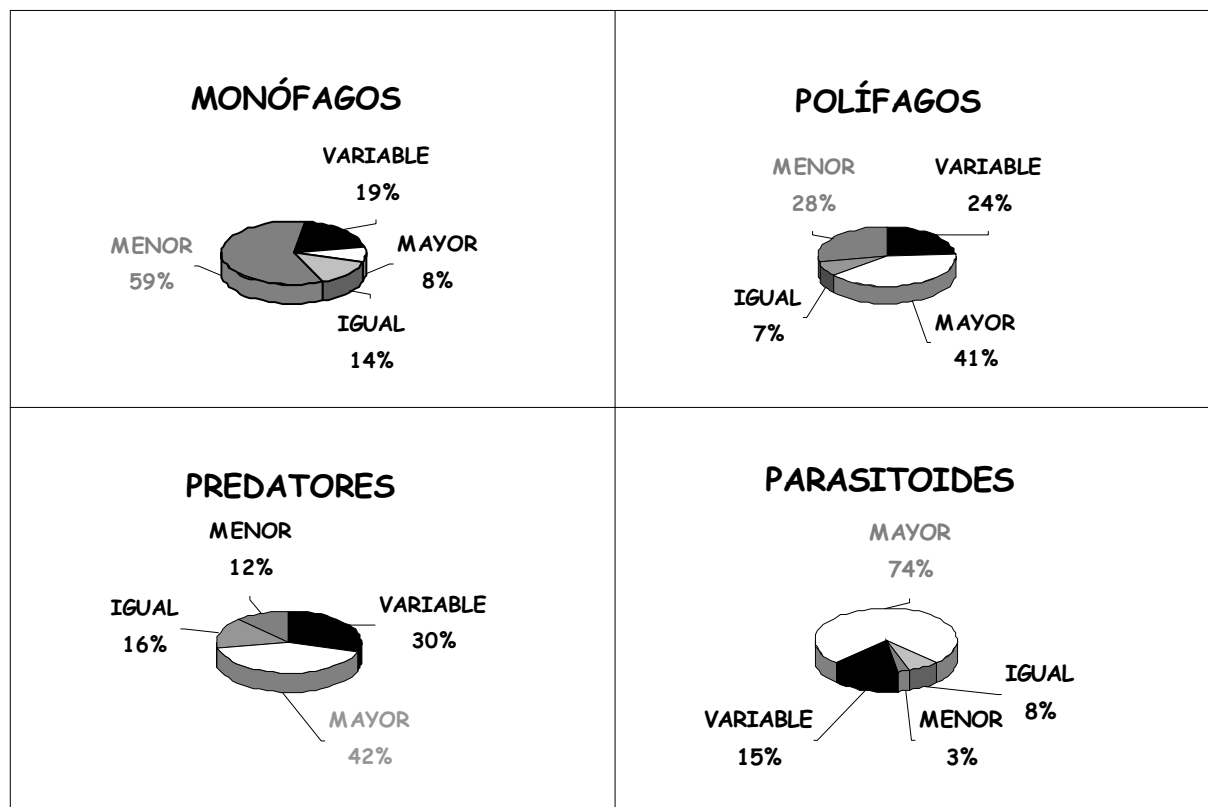
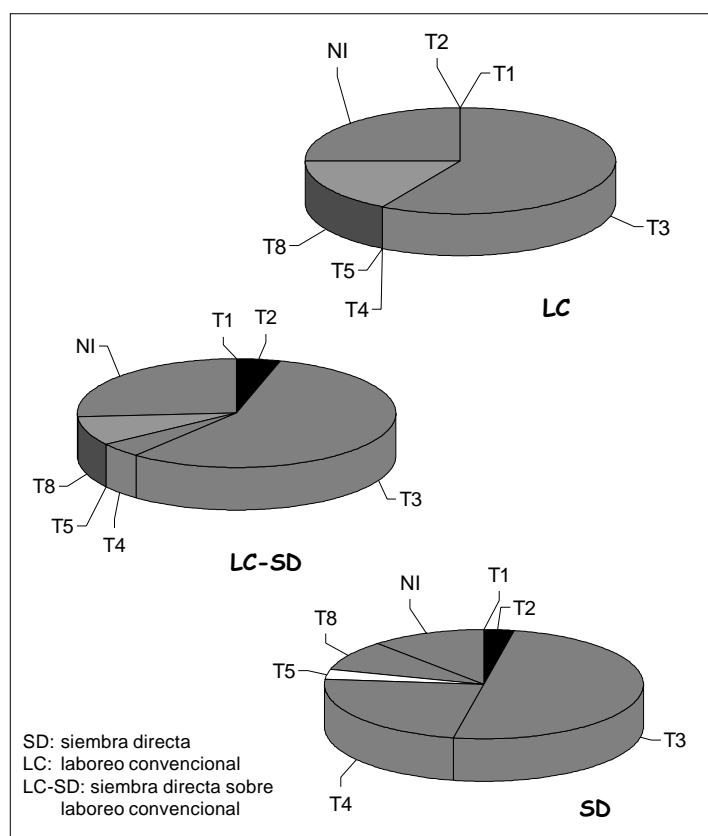


Figura 3. Respuesta particular a policultivos en densidad poblacional de algunos grupos: proporción en policultivos comparada con monocultivos (Adaptado de Andow, 1991).



inicio de la agricultura y la roturación de los suelos, agravada con el uso de maquinaria cada vez mayor, que limita la predación por pájaros (Alzugaray et al), por el propio aumento en la eficiencia de las labores.

En los sistemas de laboreo convencional el componente específico del grupo era mayoritariamente la isoca, torito o bicho candado, *Diloboderus abderus*, mientras que la gama de especies se incrementa en los sistemas con siembra directa (Castiglioni y Benítez, 1997) (Figura 4).

Figura 4. Proporción relativa de especies de isocas identificadas (T1, T2, T3, T4, T5, T6) y no identificadas (NI) en distintos sistemas de laboreo (SD: siembra directa; LC: laboreo convencional; LC-SD: siembra directa sobre laboreo convencional) en muestreo de abril de 1997. (Castiglioni & Benítez, 1997).

Sin embargo, de las aproximadamente 36 especies de isocas determinadas para Uruguay, muchas de las cuales aún están sin identificar y sin descripción de sus fases inmaduras, sólo algunas están relacionadas con el daño real en cultivos y pasturas (Alzugaray et al).

En siembra directa todas las especies de isocas, plagas o no, además de formar canales que favorecen el drenaje interno, recuperaron su función original de incorporar en el perfil la materia orgánica y nutrientes, que en estos sistemas tienden a acumularse en superficie (Ernst et al, 1994; Gassen, 1996; Silva et al, 1997). (Figura 5)

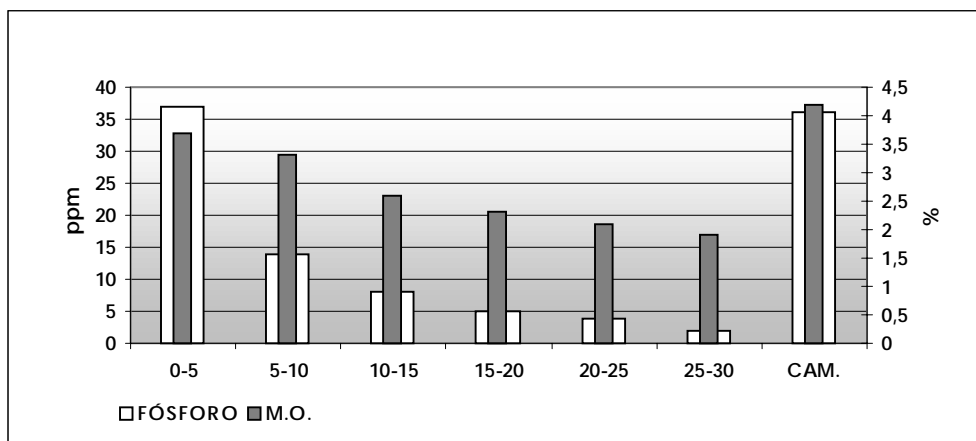


Figura 5. Distribución de materia orgánica y fósforo en el perfil del suelo, bajo siembra directa y en las cámaras de *Diloboderus abderus* (Adaptado de Gassen, 1992).

Relevamientos de fauna de suelo, realizados en parcelas experimentales, indicaron la tendencia al aumento en número de especies fitófagas, con potencialidad de daño a los cultivos (isocas, gorgojos, gusanos alambre) (Figuras 6 a 8), otras que representan el componente benéfico (lombrices, predadores) (Figuras 9 y 10) y algunas para las cuales no resulta aun clara su acción principal en el sistema productivo del país (Diplopoda), en los tratamientos con siembra directa (Ernst et al, 1994; Castiglioni, Ernst y Siri, 1995).

El aumento en número de los individuos de una especie fitófaga, como fue mencionado, no siempre está relacionado en forma directa con el daño que provoca. La presencia de isocas en siembra directa (con predominancia de *D. abderus*) en número tres veces mayor que en laboreo convencional se correspondió con un daño en las plantas del cultivo de apenas el doble en la primer situación (Castiglioni y Benítez, 1997) (Figura 11).

El éxito de una especie fitófaga en sistemas de siembra directa no sólo depende del efecto provocado por la ausencia de la roturación del suelo, que resulta favorable, sino también de las consecuencias de otras medidas de manejo, principalmente relacionadas con el rastrojo en superficie (Castiglioni y Benítez, 1997) y la comunidad de malezas (Macedo y Martins, 1998).

Ambos, el manejo del rastrojo y el manejo de los enmalezamientos, tienen incidencia directa en la evolución de muchas especies de enemigos naturales. Medidas de manejo de rastrojo como la quema, retiro o pulverización con agroquímicos, afectan más a las poblaciones de los habitantes de la superficie, entre ellos muchos enemigos naturales, que a las plagas de suelo (Andow, 1991; Gassen, 1996).

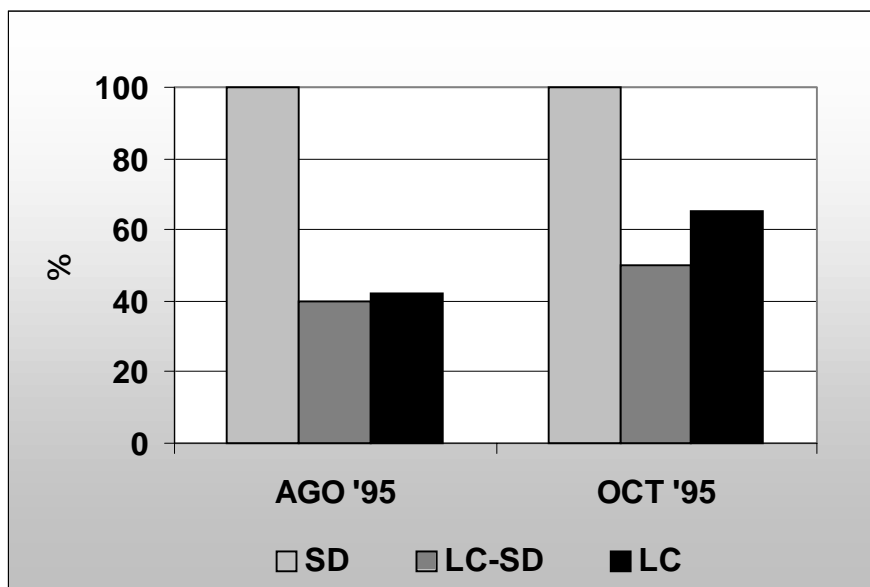


Figura 6. Proporción de isocas en dos muestreos y tres sistemas de laboreo, SD: siembra directa; LC: laboreo convencional; LC-SD: siembra directa sobre laboreo convencional (Castiglioni & Benítez, 1997).

Figura 7. Número de gorgojos según número de cultivos en siembra directa (Ernst et al, 1994).

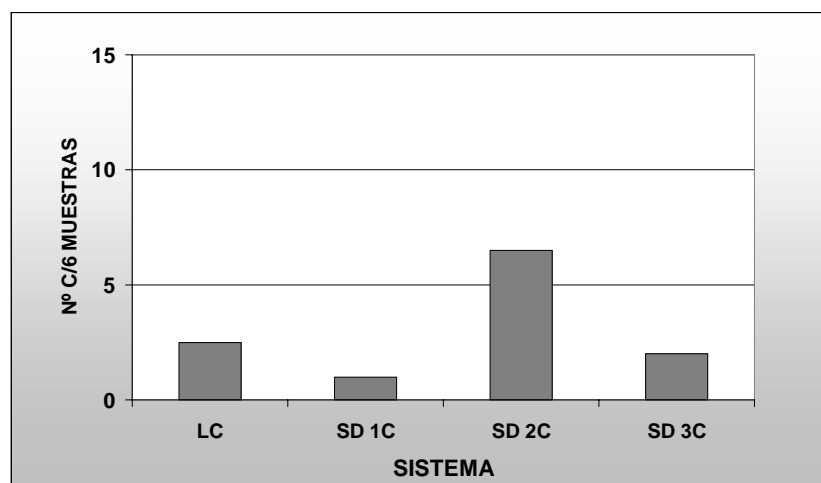
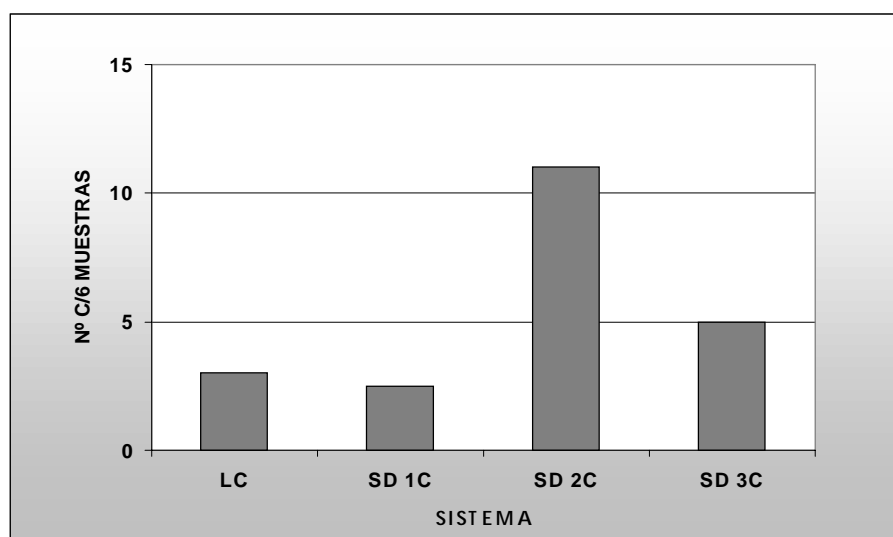


Figura 8. Número de gusanos alambre según número de cultivos en siembra directa (Ernst et al, 1994).

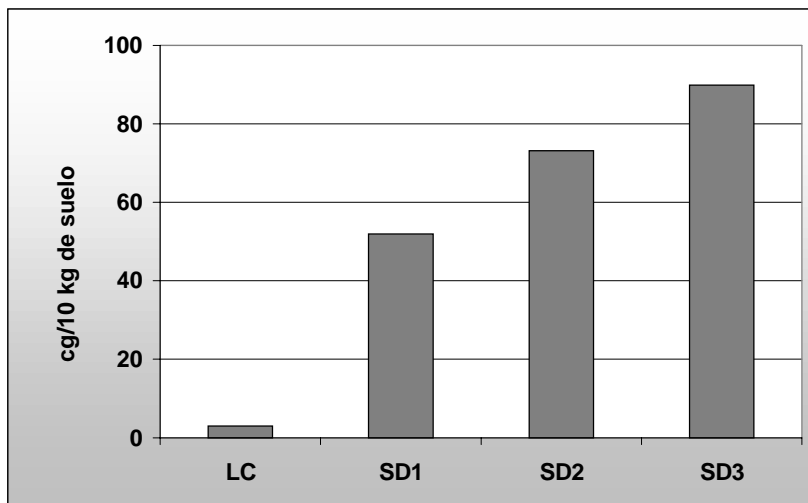


Figura 9. Peso de lombrices según número de cultivos en siembra directa (Ernst et al, 1994).

Figura 10. Número de artrópodos benéficos según número de cultivos en siembra directa.

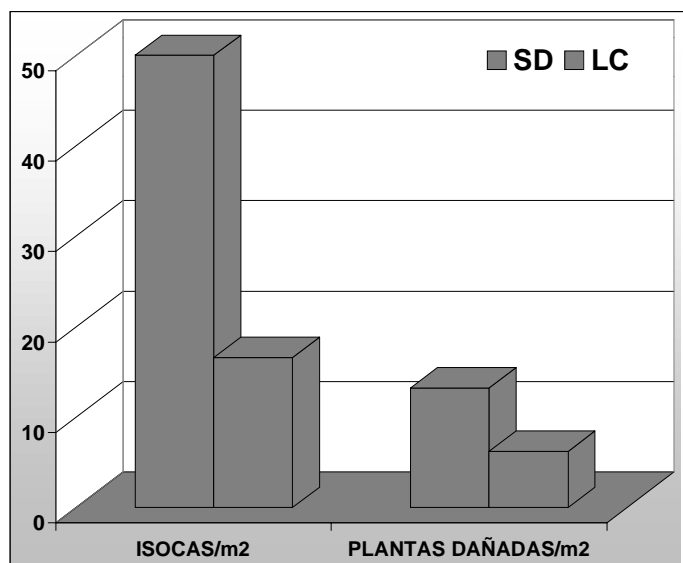
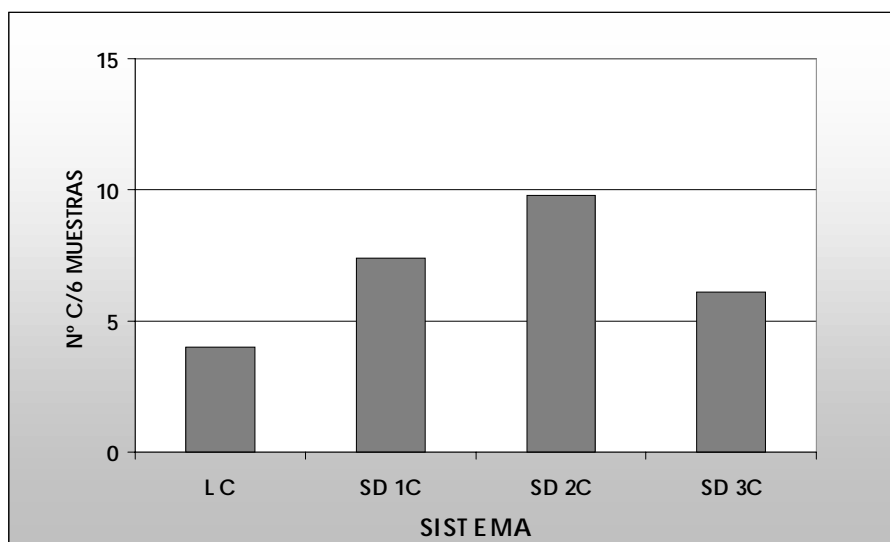
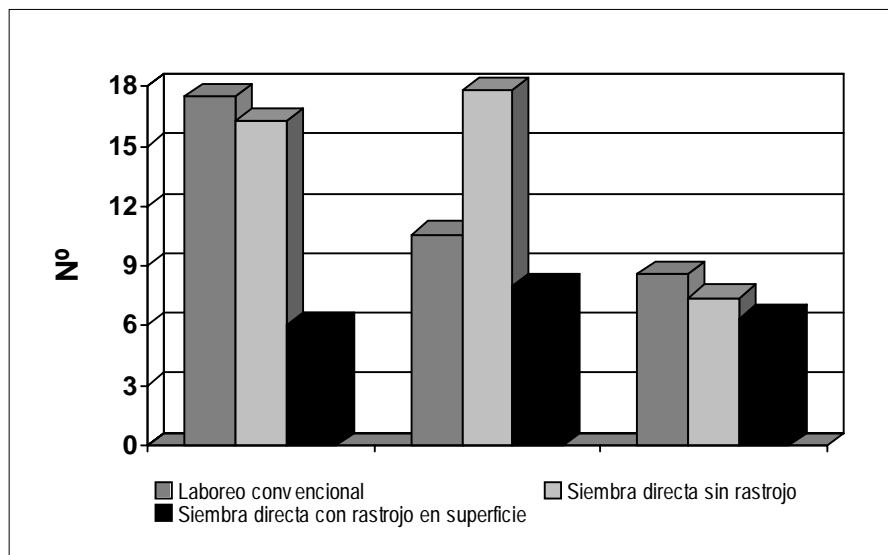


Figura 11. Número de isocas y daño a las plantas del cultivo (trigo, quinto cultivo en siembra directa) (Castiglioni & Benítez, 1997).

En trabajos maceteros pudo determinarse que cuando el rastrojo es retirado, en situaciones de siembra directa, el daño provocado por *D. abderus* resulta comparable al daño producido en laboreo convencional, siendo el daño mayor en ambas situaciones, lo que se observa en siembra directa con rastrojo en superficie (Figura 12).

Figura 12. Daño de larvas de tercer estadio de *D. abderus* en macetas con trigo o cebada, tres repeticiones, según manejo de suelo y rastrojo. (Castiglioni & Benítez, 1997).



El rol de las malezas como fuente de alimento para muchas especies de parasitoides y predadores ha sido ampliamente discutido (Altieri, 1981; Macedo y Martins, 1998).

La rotación o secuencia de cultivos es otro de los elementos que incide en la dinámica de plagas en los sistemas agrícolas. La mayoría de los estudios, sin embargo, comparan el sistema de monocultivo, frecuente en muchas regiones típicamente agrícolas, en contraste con las ventajas de la inclusión de cultivos diferentes en la secuencia o intercalados (Altieri, 1981).

También la permanencia de praderas, en las áreas de cultivo, ha sido citada como un factor de aumento de la diversidad de especies vegetales en el agroecosistema, con efecto beneficioso en la estabilidad de un mayor número de especies de invertebrados y en la reducción de la incidencia del daño a los cultivos. La fracción gramínea de la pastura resulta en general menos palatable y menos «evidente» para los insectos fitófagos (Tscharntke y Greiler, 1995; Panizzi y Parra, 1991).

Ambas situaciones son comunes en el sistema de producción del país, tanto en los sistemas convencionales con laboreo de suelo, como en las áreas bajo siembra directa. Bajo estas circunstancias no sería de prever, hipotéticamente, un aumento en las poblaciones de ciertas plagas que aumentan su incidencia en los sistemas en que desaparece la roturación del suelo, como por ejemplo las hormigas. El radio de acción de las cortadoras permite que su daño alcance los cultivos anuales laboreados en forma convencional, en los sistemas de producción en los que, como el del país, las praderas naturales y sembradas ofrecen estabilidad a las colonias. Tampoco sería previsible el aumento de problemas con chinches, frecuentemente presentes en las praderas sembradas que incluyen leguminosas.

En Europa se ha promovido la introducción de fajas empastadas, dentro de cultivos arables, con la finalidad de incrementar las poblaciones de predadores polífagos, como los carábidos (Thomas, Wratten y Sotherton).

En relación a las hormigas, ha sido citada su preferencia para la nidificación en suelos más empobrecidos, con menores tenores de materia orgánica y nutrientes (Diehl-Fleig y Rocha, 1998) y principalmente de microorganismos entomopatogénicos y posibles antagonistas del hongo simbiótico (Bento et al, 1991). En los sistemas de siembra directa estos caracteres del suelo se favorecen.

Una vez que los trabajos de relevamiento están acumulando valiosa información sobre la evolución de los componentes de la fauna del suelo, paralelamente al esfuerzo en la identificación de especies y sus biología, resta analizar las perspectivas de la gravedad que puedan alcanzar los problemas en la fase agrícola del sistema de producción.

No puede descartarse la ventaja de la mejora del suelo que genera la siembra directa en las propiedades físicas (disminución de la erosión), químicas (aumento del tenor de materia orgánica) y biológicas (aumento de los organismos que efectúan la descomposición de la materia orgánica y la distribución de los nutrientes).

Dentro del componente biológico, los sistemas estables favorecen la presencia de mayor número de lombrices y otros organismos benéficos. Muchas especies fitófagas, consideradas plagas, también desempeñan una función benéfica en estos sistemas. Ya fue mencionado el rol de muchas especies de isocas, que no causan daño real a las plantas cultivadas. Pero aún las que se encuadran en la categoría de plagas cumplen ese rol y, dependiendo de las densidades poblacionales, se dispone de la alternativa viable y eficiente del control químico en tratamiento de semillas (Alzugaray, 1996), que promueve un bajo impacto de agresión al ambiente suelo. La mayoría de los productos evaluados determinó un adecuado control de la plaga. Algunos de ellos provocan muerte de plántulas iniciales, que no inciden en el resultado final de producción, siempre superior con la semilla curada (Figura 13).

Por otra parte, es posible trasladar a los sistemas de siembra directa, las consideraciones de decisiones de manejo previas a la siembra que resultan válidas para las situaciones de siembra convencional después de pasturas, con alto riesgo de daño de este grupo de insectos (Figura 14).

La observación de los adultos en el verano y las galerías en otoño e invierno son valiosas para la estimación de niveles poblacionales y posibles niveles de daño. En condiciones de posible daño, la elección del cultivo a ser sembrado puede ser realizada en función del ciclo de la especie predominante y sus momentos de mayor daño, o de su preferencia alimentar.

Poco se sabe aún del significado a largo plazo que pueden tener algunos de los grupos que han manifestado la tendencia al aumento de sus poblaciones (gusanos alambre, miriápodos) o del daño causado (babosas).

El principal problema, al presente, parece estar centrado en el grupo de los gorgojos, representado por un complejo que incluye varias especies, de características biológicas y comportamiento poco conocidos, y para los cuales no se dispone de tratamientos de control adecuados y eficientes.

La solución de este problema seguramente se irá edificando en la medida en que la información biológica se incremente y torne disponible, determinando una mejor comprensión de la relación existente entre sus poblaciones y daños con los componentes específicos de la secuencia de cultivos de la rotación agrícola ganadera del país.

La selección de los cultivos en la rotación puede combinarse favorablemente con otras prácticas de manejo como la adecuación de las épocas de siembra, el uso de fajas o cultivos trampa, el favorecimiento del control biológico natural y la alternativa, hasta ahora poco explorada, de la utilización de control biológico aplicado.

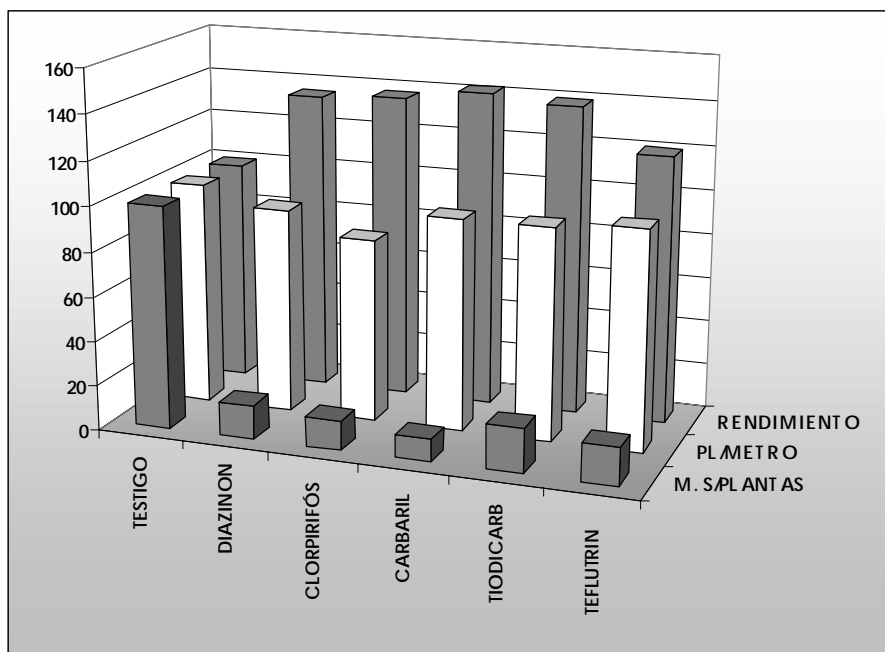


Figura 13. Resultados de tratamientos curasemillas en trigo, para el control de isocas. (Adaptado de Alzugaray, 1996).

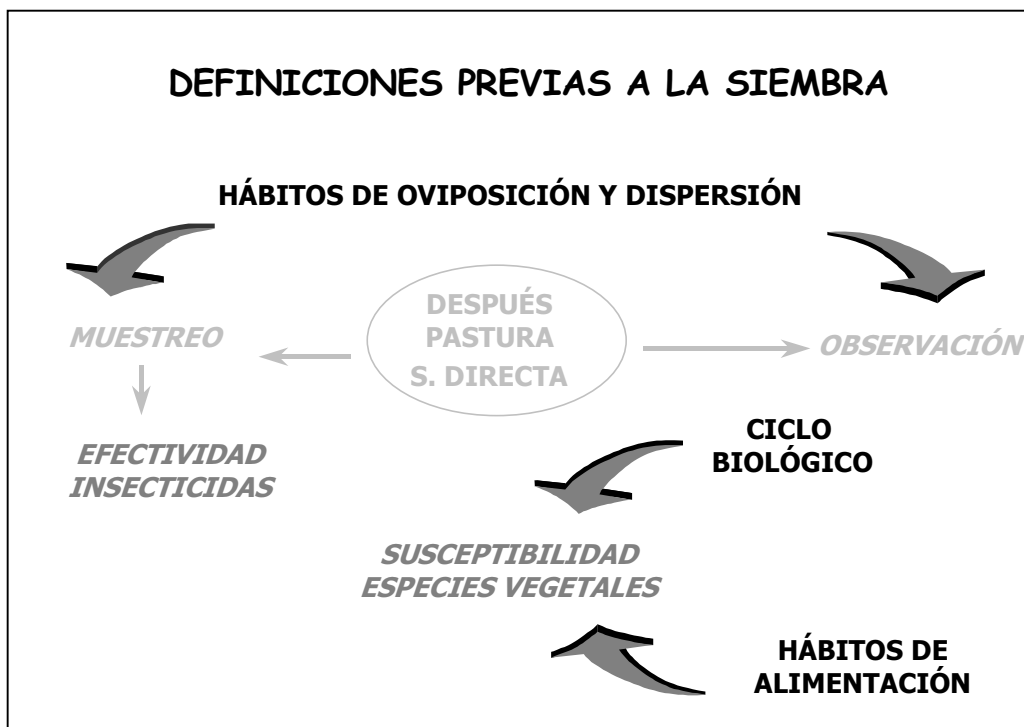


Figura 14. Esquema de elementos biológicos de las isocas, relacionados con las posibilidades de decisiones previas a la siembra del cultivo.

Literatura citada

- ALTIERI, M.A. 1981. Weeds may augment biological control of insects. *Calif. Agric.*, v.35, p. 22-24.
- ALZUGARAY, R. 1996. Isocas. **In:** Seminario técnico sobre manejo de insectos plaga en cultivos y pasturas. La Estanzuela, Colonia: INIA.
- _____; RIBEIRO, A.; ZERBINO, M.S.; MORELLI, E.; CASTIGLIONI, E. Situación de los insectos de suelo en Uruguay. **In:** Morón, M.A.; Aragón, A. (Ed.) Avances en el estudio de la diversidad, importancia y manejo de los coleópteros edafícolas americanos. A.C. Puebla, México: Universidad Autónoma de Puebla, Sociedad Mexicana de Entomología, p.151-164. (Publicación Especial).
- ANDOW, D.A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annu. Rev. Entomol.*, v.36, p.561-586.
- BENTO, J.M.S.; DELLA LUCIA, T.M.C.; MUCHOVEJ, R.M.C.; VILELA, E.F. 1991. Influência da composição química e da população microbiana de diferentes horizontes do solo no estabelecimento de saúveiros iniciais de *Atta laevigata* (Hymenoptera: Formicidae) em laboratório. *An. Soc. Entomol. Brasil.*, v.20, p.307-315.
- BIANCO, R. 1998. Ocorrência e manejo de pragas. **In:** Darolt, M.R. (Org.) Plantio Direto: pequena propriedade sustentável. Londrina, PR: Instituto Agronômico do Paraná, cap.7, p.159-172. (IAPAR. Circular, 101).
- CASTIGLIONI, E.; BENÍTEZ, A. 1997. Relação entre o manejo de solo e dos restos vegetais e a incidência de corós (Coleoptera, Sacarabaeidae). **In:** Reunião Sul-Brasileira de Insetos de Solo. 6., Santa María. Resumos.
- _____; BENÍTEZ, A. 1997. Incidencia de isocas según el manejo de suelo y el rastrojo. *Cangüé*, n.4, p.21-24.
- _____; ERNST, O.; SIRI, G. 1995. Relevamiento de fauna de suelo en situaciones de laboreo y siembra directa. *Cangüé*, n.4, p.20-22.
- DIEHL-FLEIG, E.; ROCHA, E.S. DA. 1998. Escolha de solo por fêmeas de *Acromyrmex striatus* (Roger) (Hymenoptera: Formicidae) para construção do ninho. *An. Soc. Entomol. Brasil.*, v.27, n.1, p.41-45.
- ERNST, O.; SIRI, G.; CASTIGLIONI, E.; LEGELEN, I.; OLARÁN, G.; PIÑEYRÚA, S.; TERZAGHI, A. 1994. Siembra directa: secuencias y manejo de cultivos. Cátedra de Cereales, EEMAC, Facultad de Agronomía. Jornada de campo, 18 de octubre de 1994. (Mim.)
- GASSEN, D.N. 1996. Manejo de pragas associadas à cultura de milho. Passo Fundo: Aldeia Norte, 134p.
- GRAVENA, S. 1995. Manejo integrado de pragas: princípios ecológicos para fruticultura de clima temperado. *Ver. Bras. Frut.*, v.17, p.19-23.
- KUHLMAN, D.E.; STEFFY, K.L. 1982. Insect control in no-till corn. 37th Ann. Corn and Sorghum Res. Conf. Proceedings, Washington: Am. Seed Trade Assoc. p.118-147.
- LUFF, M.L.; WOIWOD, I.P. 1993. Insects as indicators of land-use change: a european perspective, focusing on moths and ground beetles. Changes in land use. **In:** Harrington, R; Stork, N.E. (Ed.) Insects in a changing environment. London: Academic Press, cap.16, parte IV, p.399-422.
- MACEDO, J.F.; MARTINS, R.P. 1998. Potencial da erva daninha *Waltheria americana* (Sterculiaceae) no manejo integrado de pragas e polinizadores: visitas de abelhas e vespas. *An. Soc. Entomol. Brasil.*, v.27, n.1, p.29-40.

- MUSICK, G.J. 1970. Insect problems associated with no-tillage. N. E. No-Tillage Conf. Proceedings, Albany, N.Y.: Chevron Chem. Co. p.44-59.
- _____; COLLINS, D.L. 1971. Northern corn rootworm affected by tillage. Ohio Rep., v.56, p.88-91.
- PANIZZI, A.R.; PARRA, J.R.P. 1991. A ecologia nutricional e o manejo integrado de pragas. **In:** Panizzi, A.R.; Parra, J.R.P. (Ed.) Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas. São Paulo: Manole, CNPq. Cap. 9, p. 313-336.
- PRIMAVESI, A. 1988. A biologia do solo. **In:** Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel. Cap.5, p.139-163.
- SILVA, M.T.B. DA. 1997. Comportamento de *Sternechus subsignatus* (Boheman) em dez espécies vegetais de verão para rotação de culturas ou cultura armadilha no plantio direto. *Ciência Rural*, v.27, n.4, p.537-541.
- _____. 1996. Influência da rotação de culturas na infestação e danos causados por *Sternechus subsignatus* (Boheman)(Coleoptera: Curculionidae) em plantio direto. *Ciência Rural*, v.26, n.1, p.1-5.
- _____; KLEIN, V.A. 1997. Efeito de diferentes métodos de preparo de solo na infestação e danos de *Sternechus subsignatus* (Boheman) em soja. *Ciência Rural*, v.27, n.4, p.533-536.
- _____; ANTONIOLLI, Z.I.; PETRERE, C.; BIANCHI, M.A.; GIRACCA, E.M.N. 1997. Influência de larvas de *Diloboderus abderus* (Sturm) na densidade de organismos e características químicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.21, p.347-351.
- STINNER, B.R.; HOUSE, G.J. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annu. Rev. Entomol.*, v.35, p.299-318.
- THOMAS, MB.; WRATTEN, S.D.; SOTHERTON, N.W. Creation of "islnad" habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predator densities and emigration. *J. Appl. Ecol.*, v.28, p.906-917.
- TSCHARNTKE, T.; GREILER, H-J. 1995. Insect communities, grasses and grasslands. *Annu. Rev. Entomol.*, v.40, p.535-558.
- USHER, M.B. 1993. A world of change: land-use patterns and arthropod communities. Changes in land use. **In:** Harrington, R.; Stork, N.E. (Ed.). *Insects in a changing environment*. London: Academic Press, cap.15, parte IV, p. -397.

As pragas sob plantio direto

por Dirceu N. Gassen *

Introdução

Os insetos e outros animais são considerados praga quando atingem nível populacional capaz de causar danos, competindo com o homem na produção de alimentos e de outros bens de origem rural. Vários fatores bióticos e abióticos podem influenciar a ocorrência e a dinâmica populacional de pragas (Bosch et al., 1982).

A redução no preparo de solo, a proibição de uso de inseticidas clorados e fosforados persistentes e de amplo espectro de ação, a manutenção de palha na superfície e a semeadura sobre culturas dessecadas criaram ambiente favorável ao restabelecimento da fauna nativa nos agroecossistemas (Gassen, 1993e). Sob plantio direto (PD), algumas espécies novas podem causar danos, porém organismos úteis na decomposição de material orgânico, na abertura de galerias e no controle biológico natural de pragas desenvolvem-se e contribuem significativamente para a reciclagem de nutrientes e equilíbrio de populações de pragas (Gassen, 1986; 1993e).

A evolução recente dos princípios da sustentabilidade que valorizam os recursos naturais e o impacto ambiente das práticas agrícolas determinaram mudanças nas estratégias convencionais de manejo de pragas. O conhecimento sobre a dinâmica populacional das espécies de maior importância e o domínio das estratégias de controle são as bases para o manejo sustentado de pragas. Nas lavouras sob PD, com o aumento na diversidade da fauna e com a semeadura sobre culturas dessecadas, as condições são favoráveis ao desenvolvimento de inimigos naturais e ao manejo integrado de pragas.

O enfoque tradicional de “matar pragas” deve ser substituído na teoria e na prática pelo “manejo da fauna” associada aos agroecossistemas sob PD.

Neste trabalho serão apresentadas informações sobre a ocorrência de pragas associadas a plantas cultivadas e sobre estratégias de manejo das espécies de maior importância sob PD.

Fatores que determinam a ocorrência de pragas sob plantio direto

Nas lavouras sob preparo convencional de solo (PC), com aração e gradagens, predominam as pragas cujos adultos apresentam habilidade de vôo e deslocamento (pulgões, percevejos e mariposas). Infestam as lavouras desde a emergência de plantas até a colheita. Livre de seus inimigos naturais, rapidamente atingem o nível de dano, o que leva à necessidade de aplicação frequente de inseticidas (Gassen, 1989).

* Engenheiro Agrônomo, MSc, Pesquisador da Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS. E-mail: gassen@cnpt.embrapa.br

Sob plantio direto, na ausência de preparo de solo e na presença de palha na superfície, desenvolvem-se populações “residentes” e de ciclo biológico longo. Podem ser destacados os consumidores de palha, inimigos naturais de pragas, corós, grilos, lesmas, cupins e minhocas. Nas plantas dessecadas podem ocorrer populações de insetos com potencial de danos na cultura seguinte. Nesse caso é importante monitorar a lavoura para identificar as espécies de pragas de acordo com as plantas predominantes (Quadro 1).

As diferenças nos danos causados por pragas sob PD ocorrem, principalmente no período de germinação e na fase de plântula, nas culturas com baixa densidade de plantas, como o milho e o girassol. As condições favoráveis à atividade biológica permitem o desenvolvimento de populações residentes, que podem causar danos na fase inicial de desenvolvimento vegetativo (Gassen, 1993e; 1994; 1996).

A estratégia de manejo de pragas pode ser elaborada de acordo com a espécie vegetal cultivada para cobertura vegetal (produção de palha). Sobre azevém (*Lolium* sp.), pode ocorrer a broca-do-azevém (*Listronotus bonariensis*); sobre aveia (*Avena* spp.), a lagarta-da-aveia (*Pseudaletia* spp.); sobre língua-de-vaca (*Rumex* sp.), a lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*); sobre ervilhaca (*Vicia* sp.) e cornichão, os percevejos (*Dichelops* spp.); sobre aveia (*Avena* spp.) e pastagens de gramíneas, as cigarrinhas (*Deois* spp.), gafanhotos e tripes; e sobre nabo-forrageiro (*Raphanus* spp.) e outras crucíferas, as lesmas e os caracóis (Quadro 1).

Quadro 1. Animais que se desenvolvem sobre culturas de cobertura vegetal e que podem tornar-se praga na cultura subsequente sob plantio direto (Gassen, 1992b; 1993e; 1994)

Cultura dessecada	Praga em plântulas de milho
Aveia	Lagarta-da-aveia
Azevém	Broca-do-azevém
Crucíferas	Lesmas, caracóis e lagartas
Gramíneas	Tripos
Leguminosas	Percevejos e lagartas
Milheto	Lagarta-dos-capinzais
Pastagens	Cigarrinhas, gafanhotos e cupins

O cultivo dessas plantas não corresponde, necessariamente, à presença das pragas citadas, mas indica a necessidade de monitorar e de examinar a lavoura nas fases de dessecação e de semeadura para tomar medidas de controle e de manejo de espécies que ocasionalmente podem tornar-se praga.

A abundância de palha na superfície do solo desenvolve ambiente favorável à diversidade de espécies, com relações de dependência que resultam numa tendência de equilíbrio natural das populações. Os inimigos naturais de pragas encontram ambiente favorável e o controle biológico natural assume importância maior, freqüentemente controlando as pragas tradicionais. Os agricultores, em geral, não percebem a ação dos agentes de controle biológico nem as explicações para a ausência de pragas nas lavouras (Gassen, 1989).

As pragas de maior importância econômica são agrupadas de acordo com a localização no ambiente em pragas-de-solo (subterrâneas e de superfície) e da parte aérea de plantas.

Pragas-do-solo

As pragas-de-solo habitam a litosfera, na fase em que se alimentam de sementes, de plântulas e da parte subterrânea de plantas cultivadas com objetivos econômicos.

A citação de pragas-de-solo, ocorrentes em lavouras destinadas à produção de grãos, em áreas extensivas, é relativamente recente (Bertels, 1970; Guerra et al., 1976; Gassen et al., 1984; Bianco, 1985; Alzugaray, 1986; Gassen, 1989; 1992b; 1993d; Cruz, 1992, Aragón et al., 1997). Até meados deste século, o sistema de produção agrícola, com várias espécies de plantas em pequenas áreas, permitia o desenvolvimento de fauna diversificada e o controle biológico natural de pragas.

No fim da década de 1960, iniciou-se a fase denominada “revolução verde”, com forte estímulo à mecanização de lavouras e ao uso de produtos químicos. A aração e gradagens de solo e o uso de inseticidas de amplo espectro de ação resultaram em acentuada redução da fauna nativa das lavouras.

Com a proibição do uso de inseticidas clorados e com o advento do PD mantendo a palha na superfície, a fauna existente em campos nativos ou em pastagens perenes encontrou ambiente favorável para estabelecer-se em lavouras. Os exemplos característicos são os corós, os grilos, os cupins, as larvas-aramé e alguns gorgulhos.

Além disso, a mudança no perfil de produção, com a necessidade de níveis elevados de rendimento, determinou a necessidade de rotação de culturas e o estabelecimento de populações constantes e uniformes de plantas cultivadas.

De acordo com a localização do hábitat e das partes da planta onde se alimentam, as pragas-de-solo podem ser agrupadas em subterrâneas e de superfície do solo. Com a compreensão dessas características, associada ao conhecimento sobre o ciclo biológico, sobre os inimigos naturais e sobre a influência das práticas culturais e do sistema de sucessão de culturas, pode-se adotar a estratégia de manejo adequado de acordo com os princípios da sustentabilidade dos agroecossistemas. Estes preconizam aumentar a produção por unidade de área, com retorno econômico, e o menor impacto possível sobre os recursos naturais.

Pragas-do-solo subterrâneas

As pragas-de-solo subterrâneas habitam, em geral, o horizonte “A” ou camadas mais profundas do solo e raramente vêm à superfície. Apresentam hábitos e características comuns, como movimentação lenta, visão restrita, sensibilidade química e física muito desenvolvida, fotofobia, corpo despigmentado, defesa através de toxinas, tolerância a níveis elevados de dióxido de carbono, corpo coberto por estrutura cuticular hidrofóbica formando um plastro de proteção que facilita a respiração e a osmose. Alimentam-se de raízes e de outras partes subterrâneas de plantas, de sementes e de material orgânico (Gassen, 1992a).

Em geral, as populações desenvolvem-se lenta e constantemente até atingir o nível de praga, caracterizando-se como estrategistas “K”. Ou seja, apresentam baixa capacidade reprodutiva e ciclo biológico mais longo. Permanecem no solo e são pouco afetadas pelos eventos climáticos ou pelas práticas culturais que ocorrem na superfície. Nesse grupo podem ser incluídos os corós, a larva-aramé, os cupins, as larvas de gorgulhos, as lesmas, as centopéias e alguns percevejos subterrâneos (Gassen, 1992a).

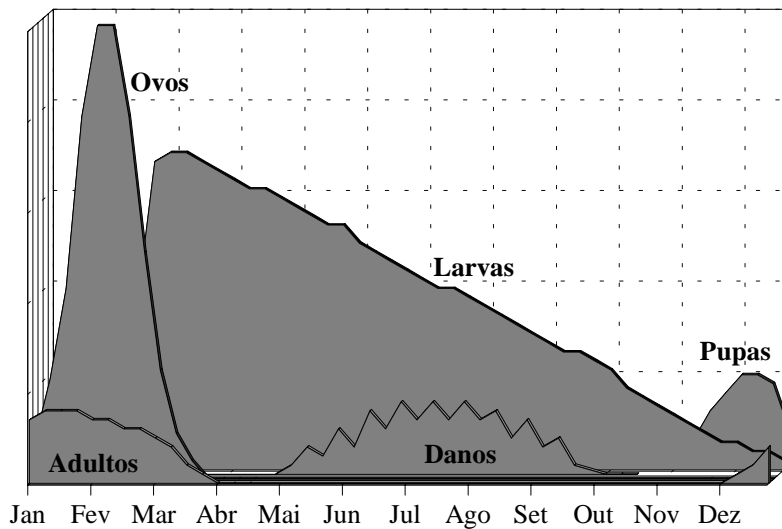


Figura 1. Ciclo biológico e danos do coró-da-pastagem, *Diloboderus abderus*, no Sul do Brasil (Gassen, 1999c).

Corós da Região Sul do Brasil, *Diloboderus abderus* e *Phyllophaga* sp. (Col., Melolonthidae)

Existem várias espécies de corós nos agroecossistemas. Algumas ocorrem em população maior sob PD, outras sob PC. O coró-da-pastagem, *Diloboderus abderus*, ocorre no sul do Brasil (Baucke, 1965), na Argentina (Alvarado, 1979) e no Uruguai (Morey e Alzugaray, 1982), causando danos nos meses de inverno (Figura 1) (Silva, 1992). As fêmeas adultas dependem de palha para realizar a postura nos meses de janeiro e fevereiro (Gassen e Schneider, 1992).

Cada larva consome uma planta de trigo, de cevada ou de aveia por semana. Considerando um período de 10 semanas com danos causados pelos corós, populações superiores a 20 larvas/m² poderão consumir todas as plantas de cereais de inverno existentes na área infestada (Gassen, 1993d; 1994; Silva, 1995). Populações de 4 larvas/m² consumirão em torno de 40 plantas (15 %) de cereais de inverno. O nível de dano em milho é inferior a 1 larva/m², pois o consumo de duas plantas corresponde a 40 % de perda (Gassen, 1994; 1996).

O coró-do-trigo, *Phyllophaga* sp., ocorre independente da presença de palha ou do sistema de preparo de solo. Os adultos são besouros cor de marrom-claro, com 2 cm de comprimento e com pêlos dourados na parte ventral do corpo. Foi constatado como praga em 1983, em Tapera, RS (Gassen et al., 1984; Gassen, 1984b).

Os adultos ocorrem em revoadas nos meses de outubro e novembro. As fêmeas sobem à superfície do solo logo após o escurecer, nos períodos com altos teores de água no solo, liberando feromônios que atraem os machos para a cópula. Após, voltam para o solo e realizam a postura. As larvas apresentam duas fileiras paralelas de espinhos no raster (face ventral da extremidade do abdômen) características da espécie (Gassen et al., 1984; Gassen, 1989).

As larvas ocorrem a partir do início de dezembro até o fim do inverno. Deslocam-se sob a superfície do solo em direção à base das plantas, das quais consomem a parte subterrânea. A maioria das larvas são encontradas na camada superficial, até 10 cm de profundidade, em pequenas câmaras, não mantendo galerias abertas no solo. Nos meses de setembro e outubro, num período de três a quatro semanas, passam à fase de pupa em câmaras pupais, no solo (Gassen, 1989).

As larvas alimentam-se de sementes e da parte subterrânea de plantas cultivadas e de plantas daninhas, concentrando-se na linha de semeadura, onde permanecem até completar a fase larval ou causar a morte da planta hospedeira. Atacam plantas daninhas ou cultivadas em lavouras e em pastagens (Gassen, 1989; 1993c; 1993d).

No fim da década de 80, formou-se a opinião de que a aração e a gradagem de solo seriam as alternativas viáveis de controle de corós e de outras pragas-de-solo. Dados experimentais, entretanto, evidenciam que o preparo de solo com arado e grade não é efetivo no controle de larvas do coró e que as espécies do gênero *Phyllophaga* ocorrem em populações maiores nas lavouras sob PC, independente da presença de palha. Através de aração ou gradagem do solo, a morte de larvas atinge 30 %, na faixa compactada pela roda do trator, e na área restante a mortalidade é insignificante (Gassen, 1993b).

O coró-do-trigo é atacado por bactérias do gênero *Bacillus* e por algumas espécies de fungos e de protozoários, que, sob condições favoráveis, provocam a mortalidade de grande número de larvas. Em geral, após constatar-se alta população, as larvas desaparecem da lavoura no ano seguinte por causa do controle biológico natural. Epizootias causadas por microrganismos são a principal causa do colapso de populações de corós em lavouras e em pastagens (Gassen e Jackson, 1992).

O coró *Cyclocephala flavipennis* ocorre em lavouras com abundância de palha e de resíduos orgânicos, não causando danos às plantas cultivadas. Apresenta características de deslocamento, de localização no perfil do solo e de tamanho do corpo semelhantes às das espécies do gênero *Phyllophaga*. Pode ser diferenciado pela forma de distribuição de espinhos e cerdas no raster, parte ventral do último segmento abdominal (Gassen, 1989).

Os corós dos gêneros *Ataenius* e *Aphodius* são coprófagos (consomem excrementos) e de ocorrência freqüente nos agroecossistemas. Larvas e adultos do gênero *Ataenius*, esporadicamente, causam danos em feijão e em outras plantas, em ambientes com abundância de palha e com adubação orgânica (Gassen, 1989).

O coró-do-arroz, *Euetheola humilis*, ocorre em áreas irrigadas em várias regiões, e o coró *Discynetus* sp. também é citado em pastagens nativas e em lavouras (Costa, 1958; Silva et al., 1968). Causam danos esporádicos em lavouras e em pastagens nativas no sul do Brasil.

O coró-da-palha, *Bothynus medon*, apresenta características morfológicas e hábitos de galerias semelhantes aos do coró-da-pastagem, porém não causa danos às plantas cultivadas. A larva armazena e consome palha em galerias de 40 a 80 cm de profundidade no solo. A larva caracteriza-se pela movimentação com o dorso do corpo sobre a superfície do solo e as pernas para cima. Espécies desse gênero são encontradas nas regiões sul e nos cerrados brasileiros. É considerado benéfico em lavouras sob PD, em pastagens e em fruteiras com abundância de palha na superfície do solo (Gassen, 1999a).

A presença de corós nas lavouras sob PD apresenta características desejáveis, desde a abertura de galerias, que facilitam a infiltração de água de chuvas, até o transporte de nutrientes no perfil do solo (Quadros 2 e 3). Os agricultores que dominam o conhecimento sobre a biologia, os danos, a importância na cadeia alimentar e as estratégias de controle aceitam a presença de corós na lavoura, pelos aspectos positivos de suas atividades no perfil do solo (Quadros 2 e 3).

Ao decidir sobre o controle de corós, é necessário identificar a espécie predominante, avaliar a capacidade de danos e optar por alternativas de menor impacto ambiental.

Os inseticidas registrados para o tratamento de sementes são eficazes no controle de corós quando a larva de terceiro estágio está presente no momento da semeadura.

Quadro 2. Teores de acidez (pH), de alumínio (Al), de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) no perfil do solo e em câmaras de larvas de *Diloboderus abderus*. (Gassen e Kochhann, 1993)

Profundidade Cm	pH	Al me/100g	Ca me/100g	Mg me/100g
0-5	5,6 a	0,13 c	5,7 ab	1,9 ab
5-10	5,5 a	0,26 c	5,1 b	1,6 b
10-15	5,4 a	0,41 c	4,4 b	1,6 b
15-20	4,9 b	1,41 b	2,6 c	1,1 c
20-25	4,7 b	2,24 a	1,8 c	0,9 c
Câmara	5,5 a	0,20 c	6,6 a	2,1 a
C.V. %	7,1	6,2	4,9	15,6

Médias seguidas da mesma letra são equivalentes através do teste de Tukey 95 %.

Quadro 3. Teores de argila, de fósforo (P), de potássio (K) e de matéria orgânica (M.O.) no perfil do solo e em câmaras de larvas de *Diloboderus abderus*. (Gassen e Kochhann, 1993)

Profundidade cm	Argila %	P ppm	K Ppm	M.O. %
0-5	30,8 c	55,4 a	194 a	3,4 b
5-10	34,6 c	26,5 bc	126 ab	2,5 c
10-15	41,6 ab	17,7 cd	79 bc	2,3 cd
15-20	46,0 a	7,8 de	50 c	2,1 cd
20-25	47,0 a	3,5 e	33 c	2,0 d
Câmara	35,0 bc	46,0 a	172 a	4,7 d
C.V. %	8,9	3,6	7,5	19,6

Médias seguidas da mesma letra são equivalentes através do teste de Tukey 95 %.

Corós nos cerrados brasileiros, *Phyllophaga* spp. e *Liogenys* spp.

As espécies de corós que ocorrem nos cerrados apresentam características biológicas e adaptações típicas para o período de estiagem de inverno. Em termos gerais, os adultos aparecem com as primeiras chuvas, a partir de setembro, e as larvas causam danos com maior intensidade nos meses de verão, enquanto no sul do Brasil os danos causados pelas larvas ocorrem nos meses de inverno.

Coró-da-soja, *Phyllophaga cuyabana*

O coró-da-soja ocorre no norte do Paraná e em Mato Grosso. O ciclo biológico completa-se em um ano. Nos meses de outubro a dezembro aparecem os adultos. Os ovos e as larvas de primeiro e início de segundo estágio ocorrem em novembro e dezembro. A partir de janeiro, desenvolvem-se as larvas de terceiro estágio. A partir de maio, as larvas entram em diapausa, não se alimentando mais. Essa espécie apresenta ciclo biológico adaptado às regiões tropicais, com chuvas abundantes no verão e período seco no outono e no inverno (Santos, 1992; Oliveira e Hoffman-Campo, 1993) (Figura 2).

O coró-da-soja consome plantas até o mês de abril, podendo causar danos nas culturas semeadas no verão. A ocorrência de larvas do coró-da-soja não é afetada pela presença de palha na superfície ou pelo preparo de solo. Populações maiores são constatadas em áreas sob PC, à semelhança do coró-do-trigo.

Coró de Mato Grosso, *Liogenys* sp.

Em Mato Grosso do Sul ocorre a espécie *Liogenys* sp. O ciclo biológico e os hábitos alimentares são semelhantes aos do coró-da-soja e de outras espécies que ocorrem em Goiás, em Minas Gerais e em Mato Grosso (Avila e Rumiatto, 1997).

Os besouros adultos emergem do solo após as primeiras chuvas, no fim de setembro e outubro. Realizam a postura durante o período em que os agricultores semeiam as culturas de verão. As larvas de primeiro e segundo estádios desenvolvem-se até dezembro.

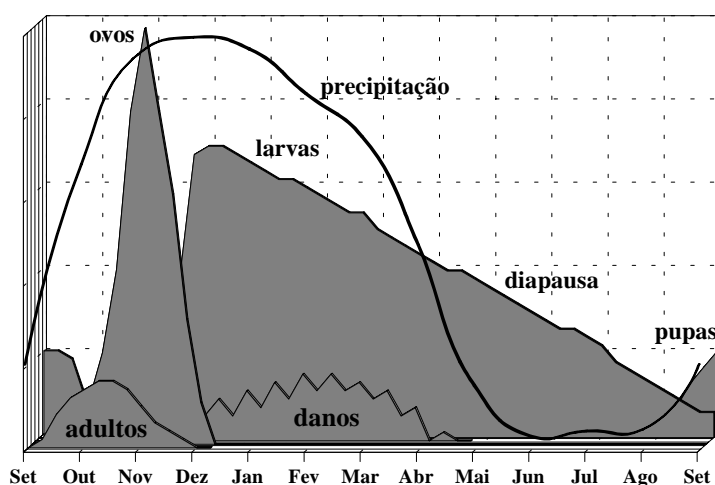


Figura 2. Período de chuvas, ciclo biológico e danos de corós fitófagos nos cerrados brasileiros (adaptado de Santos, 1992; Oliveira, 1999).

As larvas de terceiro estágio causam danos às plantas desde o fim de dezembro até março. Quando inicia a estiagem de inverno, as larvas aprofundam-se no solo até 20 cm ou 30 cm e constroem câmaras larvais, onde permanecem em diapausa e passam às fases de pupa e de adulto até setembro (Figura 2).

A aração do solo no outono não atinge as larvas que se encontram em câmaras situadas em profundidades maiores do que as alcançadas pelo arado ou pelo escarificador. No processo de preparo de solo a morte de corós pode chegar a 30 %, pela compactação da roda do trator quando as larvas se encontram próximas à superfície nos meses de verão.

As estratégias de controle de corós nos cerrados são diferentes das adotadas no sul do Brasil. Nos cerrados, a previsão de ocorrência e a identificação de locais com populações maiores tornam-se difíceis, pois as revoadas e a oviposição ocorrem em outubro, na fase de semeadura das culturas de verão. Os danos ocorrem em pequenas manchas nas lavouras a partir de dezembro ou janeiro, dois meses após a semeadura e após a revoada. O uso de inseticidas no

tratamento de sementes ou de líquidos no sulco de semeadura, em geral, não apresenta persistência para o controle das larvas nessas condições (Gassen, 1999b).

Nas manchas de lavouras com danos no verão, recomenda-se a semeadura de safrinha com inseticida no sulco de semeadura ou no tratamento de sementes (Gassen, 1999b).

Cupins, *Cornitermes cumulans*, *Procornitermes striatus*, *Syntermes* sp. (Iso., Termitidae) e *Heterotermes* spp., *H. tenuis*, *Procornitermes triacifer* e *Syntermes molestus* (Iso., Rhynotermitidae)

Os cupins são insetos sociais organizados em castas, com funções definidas. Os operários fazem a limpeza e quase todo o trabalho do cupinzeiro. Os soldados são responsáveis pela defesa física ou química (toxinas ou substâncias pegajosas). Os

reprodutores, rei e rainha, podem viver alguns anos e apresentam alta fecundidade (Gallo et al., 1988).

O cupim-de-monte, *Cornitermes cumulans*, é a espécie mais conhecida em lavouras e em pastagens no Brasil, onde constrói montes típicos, de contornos arredondados e textura rígida.

Os cupins subterrâneos, *Heterotermes* sp. e *Procornitermes striatus*, constroem longas galerias no solo. Pouco se conhece sobre o ninho e sobre a biologia desse grupo. A movimentação de cupins atinge longas distâncias e profundidades variáveis no perfil do solo.

A formação de novas colônias ocorre por brotamento, sociotomia e revoada ou enxameamento. A revoada ocorre no período situado entre agosto e dezembro. No solo, um rei e uma rainha juntam-se, formando novo ninho. A rainha é distintamente maior do que os demais componentes do cupinzeiro. A capacidade de postura é de alguns milhares de ovos por dia, na fase de maior reprodução. Ao morrer, a rainha pode ser substituída por jovens reprodutivas.

Os cupins alimentam-se de produtos celulósicos. A celulose é digerida por protozoários ou bactérias no interior do tubo digestivo do inseto. Os cupins ocupam importante função na reciclagem de nutrientes e na quebra de substratos em partículas menores para a decomposição.

Nos cerrados, os cupins subterrâneos *Heterotermes* sp. e *Procornitermes* atacam as sementes e a parte subterrânea de plantas cultivadas em lavouras.

O controle de cupins depende da espécie e de suas características biológicas. Os cupins de monte podem ser controlados mecanicamente mediante o uso de broca perfuradora de solo, acoplada ao trator, durante o inverno, antes da fase reprodutiva. Dois meses após, deve-se repassar a broca nos cupinzeiros que continuam em atividade. A injeção de inseticidas, através de uma abertura no topo do monte, é outra alternativa eficiente de controle da praga.

Nas regiões de terras baixas ocorrem montes, semelhantes aos de cupinzeiros, construídos por formigas do gênero *Camponotus* (Loeck et al., 1993). Denominada de formiga-cupim pode infestar grandes áreas com alta densidade, causando transtornos semelhante aos dos verdadeiros cupins. O ninho se diferencia por apresentar estrutura menos rígida e pela presença de plantas ao redor do monte e sobre este.

As formigas pretas, ardideiras, também constroem montes de terra solta e causam problemas na colheita, nas áreas sob PD, por causa da terra coletada no mecanismo de transporte de grãos da colhedora (Gassen, 1996).

Larva-aramé, *Conoderus* spp. (Col., Curculionidae)

Os adultos apresentam forma do corpo afilada, típica de elaterídeos (vaga-lumes), saltando quando colocados com dorso sobre o solo. As larvas apresentam corpo rígido e cilíndrico, o que caracteriza o nome comum de "larva-aramé" (Gallo et al., 1988).

Observações preliminares indicam que as larvas-aramé apresentam ciclo biológico univoltino com gerações sobrepostas.

A larva-aramé pode atacar as sementes, perfurar o caule e outras partes subterrâneas de plântulas e de raízes adventícias. Os danos podem ser confundidos com os causados por outros insetos, como a lagarta-elasma e a larva-alfinete. Para diagnosticar a causa de sintomas de danos nas plantas, é importante localizar o agente causador (Gassen, 1989).

A ocorrência de várias espécies de larvas-aramé evidencia a necessidade de maiores estudos sobre os hábitos alimentares, para definir a importância econômica das espécies predominantes. Nas regiões secas e tropicais, esporadicamente ocorrem populações elevadas de larva-aramé, justificando a necessidade de controle. No Sul do Brasil, as populações são menores e raramente causam danos (Gassen, 1989).

A proteção de sementes e de plântulas até duas a três semanas após a semeadura pode ser obtida com o uso de inseticidas na semente ou aplicados no sulco de semeadura.

Gorgulho-do-solo, Pantomorus spp. (Col., Curculionidae)

Espécies de gorgulhos do gênero *Pantomorus*, também identificadas como *Naupactus* ou *Asynonychus*, ocorrem em lavouras, em pastagens e em pomares. Os adultos apresentam coloração geral de cinza a pardo-escura, 1,5 cm de comprimento e forma típica de gorgulho (Gassen, 1989).

As larvas são desprovidas de pernas e apresentam coloração branco-leitosa, atingindo 1,5 cm de comprimento. As larvas do gorgulho são semelhantes às do tamanduá-da-soja, *Sternechus subsignatus*. Diferenciam-se pela coloração esbranquiçada e posição retraída da cabeça. As larvas do tamanduá-da-soja apresentam cabeça cor de marrom e destacada do corpo, coloração geral amarelada e são encontradas em câmaras pupais (Gassen, 1996).

As larvas alimentam-se de sementes e de partes subterrâneas de plantas, causando danos até a fase de quatro semanas após a semeadura. Nas plantas maiores causam danos, porém sem provocar a morte destas. Ocorrem nas culturas de alfafa, de canola, de tremoço, de linho, de soja, de feijão, de milho e em pastagens. Em períodos de seca os danos são mais intensos e os sintomas aparecem com maior severidade (Gassen, 1989; 1994; 1996).

O controle de larvas de gorgulho é considerado difícil. Não existem indicações eficazes para a proteção de plantas nem métodos de controle de larvas no solo. Mesmo as sementes tratadas com inseticidas podem ser danificadas pelas larvas do gorgulho.

Pragas de superfície de solo

As pragas de superfície de solo habitam o horizonte "O" (orgânico), vivem sob resíduos vegetais, são pigmentadas, movimentam-se com agilidade e penetram no solo através de rachaduras ou cavidades já existentes. O ciclo biológico e a capacidade de danos desse grupo de pragas são influenciados por diversos fatores, como a cobertura vegetal, o material orgânico, o preparo de solo, a radiação solar, a temperatura e o teor de água. Causam danos maiores em períodos de seca, quando a temperatura do solo é elevada e as plantas não conseguem reagir aos danos de pragas. Alimentam-se de sementes, de raízes, do colo de plantas e, algumas vezes, da parte aérea (Gassen, 1992a).

Nesse grupo, encontram-se a lagarta-elasma, a lagarta-rosca, a lagarta-da-aveia, a larva-angorá, o ligeirinho e a broca-do-azevém. No mesmo ambiente também são encontrados diplópodes (centopéias) e gastrópodes (lesmas e caracóis), que podem causar danos em plantas, nas regiões de temperatura amena, com abundância de resíduos vegetais e com elevado teor de água na superfície do solo.

Larva-angorá, *Astylus variegatus* (Col., Dasytidae)

Os adultos da larva-angorá apresentam forma do corpo alongada, com 0,8 cm de comprimento, e coloração geral amarelada. A cabeça é preta e os élitros são amarelos, com cinco pares de manchas pretas. São conhecidos como vaquinha-amarela. No verão, os adultos são encontrados sobre flores de girassol, de soja e de leiteirinho e em espigas de milho, alimentando-se de néctar, de pólen e de exsudatos de plantas. O ciclo biológico completa-se em um ano (Matioli et al., 1987; Gassen, 1989; 1994; 1996).

A postura é feita no solo, em rachaduras naturais, sob torrões ou sob restos culturais. As larvas apresentam forma alongada, com a parte anterior do corpo afilada, e atingem 1,0 cm de comprimento. Apresentam três pares de pernas torácicas, coloração geral marrom, dois cercos na extremidade posterior e corpo revestido de pêlos longos e finos. Essa pilosidade característica confere-lhe o nome comum de angorá ou lanudo. As larvas desenvolvem-se no solo, desde o outono até o fim da primavera. Passam à fase de pupa em câmaras construídas pelas larvas, no solo (Gassen, 1989).

As larvas causam danos ao se alimentarem do endosperma de sementes de plantas daninhas ou de plantas cultivadas e evitam raízes e outras partes subterrâneas de plantas. Causam preocupação maior nas culturas com baixa população de plantas, como o milho. Perfuram a semente e consomem o endosperma, impedindo a germinação ou debilitando a plântula.

A semeadura com sementes de boa qualidade, em solo fértil e em condições favoráveis à germinação rápida, dificulta o dano causado pela larva-angorá. O tratamento de sementes com inseticidas é eficaz na proteção contra o dano dessa praga.

Pelo aspecto geral do corpo, a larva-angorá pode ser confundida com a larva de idi-amim, *Lagriá villosa* (Col., Lagriidae), porém esta atinge 1,7 cm de comprimento, apresenta corpo preto-brilhante, coberto de pêlos negros com reflexos dourados, e alimenta-se de material vegetal morto, sem causar danos às plantas.

Broca-do-azevém, *Listronotus bonariensis* (Col., Curculionidae)

A broca-do-azevém é um pequeno gorgulho cuja fêmea realiza postura na bainha de folhas de gramíneas, principalmente em azevém, em trigo e em cevada. Em aveia ocorre em população baixa. As larvas desenvolvem-se na coroa de plantas, alimentando-se das gemas que dariam origem a filhotes e a raízes adventícias (Paiva-Neto, 1973).

As plântulas de milho, sob PD, semeadas sobre azevém dessecado, podem sofrer danos severos. Com a morte do azevém, as larvas maiores buscam outras espécies para alimento até completar a fase. Elas deixam as plantas secas e atacam o ponto de crescimento de plântulas de milho, matando-as e causando o sintoma conhecido como "coração-morto". As fêmeas podem fazer postura em milho, porém as larvas recém-nascidas não sobrevivem nessas plantas (Gassen, 1996).

O controle de ovos e de larvas é difícil de ser obtido com inseticidas, por causa da localização dentro do tecido da planta. A melhor forma de evitar o dano de larvas em milho é mantendo-se um intervalo de duas semanas entre a morte do azevém infestado com larvas e a semeadura.

Em áreas de azevém com infestação elevada de larvas, se for mantido um intervalo superior a quatro semanas entre a dessecação e a semeadura, poderá haver tempo suficiente para completar-se a fase de pupa e a emergência de adultos, que atacam as plântulas de milho (Gassen, 1996).

Grilos, *Gryllus assimilis* e *Anurogryllus* spp. (Ort., Gryllydae)

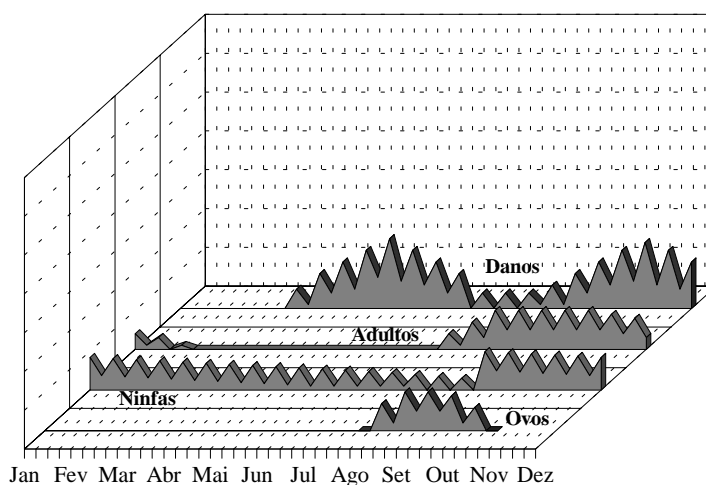
Os grilos são habitantes dos agroecossistemas e considerados praga esporádica em lavouras extensivas. O grilo-preto (*Gryllus assimilis*) é a espécie mais citada na bibliografia brasileira (Gallo et al., 1988), ocorrendo como praga em hortas e jardins. Em lavouras é um habitante comum; entretanto, raramente atinge o nível de praga.

Nos últimos anos tem se observado a presença do grilo-marrom (*Anurogryllus muticus*) (Costa e Link, 1989), em pastagens, em gramados e em lavouras sob plantio direto, causando apreensão aos agricultores. Caracteriza-se por cavar galerias com 20 a 30 cm de profundidade no solo e por causar danos severos em manchas de lavouras (Gassen, 1996).

O grilo-marrom permanece no interior da galeria subterrânea durante o dia, bloqueando a entrada com terra. Após chuvas, os grilos depositam montículos de terra, resultantes da escavação, que caracterizam a presença da praga na lavoura. No período entre abril e junho, a contagem de montículos permite determinar a população e a distribuição do inseto nas lavouras (Gassen, 1999b).

O ciclo biológico completa-se em um ano. A postura ocorre nos meses de setembro a novembro. As ninfas podem ser encontradas em grupos numerosos nas galerias cavadas pelos adultos. No outono as ninfas aprofundam as galerias, onde armazenam alimento e passam os meses de inverno. A partir do início da primavera, passam à fase adulta, iniciam a reprodução e causam danos severos em plântulas (Figura 3) (Gassen, 1999b).

Figura 3. Ciclo biológico e período de danos do grilo, *Anurogryllus muticus*, em lavouras sob plantio direto (Gassen, 1999b)



Os grilos causam danos mais severos em períodos de seca e de temperaturas noturnas elevadas, quando os insetos são mais vorazes e o crescimento e a capacidade de reação das plantas é reduzido. Durante a noite, os grilos cortam as plântulas transportando-as para dentro de galerias. Populações de um grilo/m², podem causar danos consideráveis em milho e em soja na fase de germinação de sementes.

O controle de grilos em lavouras extensivas é considerado difícil pelo hábito que a praga tem de proteger-se em galerias e de armazenar alimento para alguns dias. Com isso, a aplicação de inseticidas na parte aérea de plantas, em geral, é insatisfatória; entretanto, pode proteger a cultura contra a praga por alguns dias, possivelmente por repelência.

As informações conhecidas indicam o uso de iscas envenenadas como alternativa de controle da praga (Murray et al., 1984). A eficiência da isca é maior nas fases após a colheita das culturas de verão ou após a dessecação de inverno, quando não há alternativa de alimento para os grilos. Se a isca for aplicada após a germinação das plantas cultivadas, os grilos poderão optar pelo vegetal, evitando as iscas envenenadas.

Lagartas, Agrotis, Pseudaletia, Peridroma e Spodoptera (Lep., Noctuidae)

As lagartas que ocorrem com maior frequência atacando plântulas são a lagarta-da-aveia, *Pseudaletia* spp., a lagarta-rosca, *Agrotis* spp., a lagarta-militar, *Spodoptera* spp., e a lagarta-do-nabo, *Peridroma* spp. Em geral predomina uma das espécies associada à cultura anterior (Gassen, 1986).

A lagarta-da-aveia desenvolve-se a partir de postura realizada em plantas verdes. A dessecação interrompe o desenvolvimento da população. As lagartas deslocam-se dezenas de metros em busca de alimento. Consomem folhas de plântulas desde o ápice até dentro do solo. A dessecação duas a três semanas antes da semeadura de milho ou de soja interrompe o ciclo biológico da lagarta-da-aveia. O tratamento de semente de milho com inseticida tiodicarbe é eficiente no controle da lagarta-da-aveia, até duas semanas após a semeadura (Gassen, 1994).

A lagarta-rosca ocorre em vários ambientes e está associada a plantas hospedeiras preferenciais. Nas várzeas e nas áreas infestadas com língua-de-vaca e caruru, desenvolvem-se populações mais elevadas (Link e Knies, 1973). A larva corta plântulas rente ao solo e as transporta para dentro da galeria. Essa característica, diferentemente da lagarta-da-aveia, determina índices menores de controle com inseticidas (Gassen, 1996).

A lagarta-do-nabo é de ocorrência esporádica, mais frequente em períodos de seca, sobre nabo-forrageiro, ervilhaca e tremoço. A postura é realizada em plantas verdes ou em material seco, o que determina a ocorrência de larvas de vários estádios e reinfestação independente da época de dessecação ou da presença de plantas verdes (Gassen, 1996).

A lagarta-militar, nome comum de espécies de *Spodoptera*, ocorre nas mesmas condições da lagarta-do-nabo. Com exceção da lagarta-da-aveia, as outras três são de difícil controle e causam danos severos em períodos de seca. Elas são encontradas no sulco de semeadura, protegidas sob torrões, e cortam as plântulas na superfície e até próximo à semente. O controle com inseticidas na semente ou aplicados em área total é insatisfatório em períodos de seca (Gassen, 1996).

A mistura de inseticidas com herbicidas dessecantes para controle de lagartas também mostrou-se ineficiente em períodos de seca. A aplicação de inseticidas, via líquida, no sulco de semeadura, parece ser uma alternativa eficiente de proteção contra lagartas que atacam plântulas.

Lesmas e caracóis

Vários moluscos fitófagos ocorrem nos agroecossistemas (Bonilha, 1991). Nas lavouras, com abundância de palha e de vegetação, podem atingir nível de praga. Os caracóis e as lesmas (gastrópodes), em geral, ocorrem em regiões de temperaturas amenas e de umidade elevada e em áreas com material vegetal cobrindo o solo. No sul do Brasil foram identificados os caracóis *Bulimulus* spp. (Mollusca, Bulimulidae) e as lesmas

Deroceras spp., *Limax* spp. (Mollusca, Limacidae), *Phyllocaulis* spp. (Mollusca, Veronicellidae) (Gassen, 1996).

Os caracóis e as lesmas são considerados praga nos países do Hemisfério Norte e no sul do Chile. Nas regiões de clima mais quente e seco, a ocorrência como praga era restrita a hortas, a jardins e a locais com elevado grau de água e protegidos da radiação solar. Em decorrência da evolução do PD, da abundância de palha na superfície e da adoção de culturas com vegetação exuberante, como nabo-forrageiro, criou-se ambiente favorável ao desenvolvimento de moluscos nas lavouras. A frequência é maior em regiões de temperaturas amenas durante a noite, quando há teores elevados de água no solo, ou períodos chuvosos, em áreas com abundância de palha.

O ciclo biológico e os hábitos de caracóis são pouco conhecidos no Brasil. Observações realizadas em lavouras sob PD evidenciam que os caracóis adultos (*Bulimulus* sp.) andam na superfície do solo, sob restos culturais e sob plantas que apresentam densa cobertura. Na primavera, observa-se a presença de ovos em grandes quantidades. Após chuvas, os caracóis cavam pequenas urnas verticais no solo, com 2 a 3 cm de profundidade, onde depositam ovos. Em cada postura são encontrados mais de 50 ovos de coloração branco-leitosa, forma esférica, diâmetro de 0,2 cm, semelhantes a grânulos de sagu. A oviposição é realizada sob touceiras de plantas (gramíneas) que conferem cobertura densa do solo (Gassen, 1986). Algumas vezes, os ovos podem ser encontrados em profundidades maiores, em galerias abertas por insetos e outros animais, ou no sulco de semeadura. Duas a três semanas após a oviposição, os ovos apresentam coloração amarelada, com manchas pardo-escuras. Após quatro semanas de incubação, nascem os caracóis jovens. Eles se agrupam em ambientes úmidos, junto a restos culturais, que lhes conferem camuflagem, possivelmente para evitar inimigos naturais.

As lesmas apresentam hábitos e biologia semelhantes aos de caracóis. Durante o início da fase adulta, as lesmas agem como machos e mais tarde como fêmeas. Grupos de até 30 ovos são encontrados nos meses de primavera em galerias abertas por outros animais, em rachaduras do solo e sob restos culturais, em ambientes úmidos. As lesmas jovens desenvolvem-se durante alguns meses até atingir a fase adulta. No verão observam-se lesmas adultas, sugerindo a existência de uma geração por ano. Estudos laboratoriais evidenciam a oviposição também nos meses de verão, sugerindo a possibilidade de maior número de gerações por ano quando as condições ambientes são favoráveis (Gassen, 1996).

As lesmas e os caracóis alimentam-se de folhas e da parte subterrânea de plantas, podendo causar a morte destas. Os danos são localizados em lavouras isoladas. O nabo-forrageiro e outras crucíferas favorecem a reprodução e o aumento da população de lesmas e de caracóis, por causa da qualidade do alimento, do sombreamento e de índices elevados de umidade relativa do ar mantidos sob a folhagem exuberante dessas plantas.

O controle pode ser feito com iscas envenenadas e através da eliminação de plantas daninhas sobre as quais os gastrópodes vivem antes da semeadura da cultura principal. Em lavouras sob plantio direto, a dessecação de plantas daninhas e da cultura de cobertura resulta na falta de alimento, na maior incidência de radiação solar e na morte de moluscos por desidratação.

O uso de iscas comerciais com produtos à base de metaldeído é uma prática eficiente, em pequenas áreas. O controle em lavouras extensivas torna-se caro e, às vezes, impraticável. Os inseticidas convencionais são ineficientes para esse grupo de pragas (Aragón et al., 1997).

As pragas da parte aérea

As pragas que atacam a parte aérea de plantas (acima da superfície do solo) caracterizam-se pela habilidade de migrar de outras lavouras ou regiões e são consideradas estrategistas “r”, ou seja, reproduzem-se rapidamente, colonizam as plantas e podem causar danos severos, num período curto de tempo, emigrando quando as condições são desfavoráveis. São facilmente localizadas e identificadas (Gassen, 1992a).

Para a maioria das espécies existe bibliografia disponível sobre a biologia, danos e estratégias de controle. As principais espécies desse grupo são os pulgões, os ácaros, as moscas, os percevejos e as lagartas (Gallo et al., 1988).

Tamanduá-da-soja, Sternechus Subsignatus (Col., Curculionidae)

O tamanduá-da-soja, também conhecido como bicudo-da-soja, é um inseto nativo e apresenta ciclo biológico de um ano (Corseuil et al., 1974). Os adultos emergem do solo a partir da última semana de novembro e durante o mês de dezembro. A postura é feita em soja e em feijão no período de dezembro e janeiro. No mês de março a larva abandona as plantas, constrói uma câmara no solo, onde passa à fase de diapausa até o mês de outubro, quando passa à fase de pupa (Gassen, 1987).

O controle com inseticidas é viável apenas para os adultos. Como emergem do solo durante 4 a 5 semanas, várias aplicações de inseticidas poderiam ser necessárias. Os adultos emergem do solo com o esqueleto externo do corpo completamente formado, porém necessitam alimentar-se de leguminosas para desenvolverem os músculos de vôo. Nas áreas infestadas, a rotação de soja com milho, com sorgo ou com girassol força o inseto a sair da lavoura a caminhar em busca de alimento. A rotação dessas culturas deve ser acompanhada da semeadura de uma borda (5 a 10 m) com plantas armadilha (soja ou feijão), onde os adultos deverão ser controlados, para evitar a disseminação da praga ().

Percevejo barriga-verde Dichelops Furcatus e Dichelops Melancthus (Hem., Pentatomidae)

O percevejo barriga-verde é considerado como inseto secundário em soja e importante praga em plântulas de milho (Gassen, 1996). A espécie mais freqüente em soja e em milho é *Dichelops (Neodichelops) furcatus* (Hem., Pentatomidae). Nos cerrados também ocorre a espécie *D. melancthus*. Esses percevejos caracterizam-se por apresentar espinhos umerais (no pronoto) e coloração dorsal do corpo amarronzada e do abdome verde, o que lhe confere o nome comum. *D. melancthus* apresenta os espinhos umerais negros, porém a diferenciação exata deve ser feita por meio do exame de características na genitália.

As duas espécies apresentam características morfológicas e biológicas semelhantes. O ciclo biológico completa-se em torno de um mês. Os adultos podem viver até seis meses, a partir do outono até a primavera. Durante esse período, voam curtas distâncias até encontrar plantas adequadas para alimentação ou ambiente favorável à sobrevivência.

Eles podem ser encontrados em leguminosas, em crucíferas isoladas, em buva e em outras plantas de folhas largas, nas quais encontram ambiente mais adequado do que em azevém, em aveia e em outras gramíneas.

O percevejo barriga-verde ocorre em soja, porém não se caracteriza como praga na cultura. Tornou-se praga importante com a evolução do plantio direto e com o cultivo de

milho sobre leguminosas (ervilhaca), na primavera, ou sobre soja, no verão (safrinha). O percevejo depende do consumo de grãos de leguminosas para se reproduzir.

Na fase de emergência de plântulas de milho, praticamente, não há planta verde na lavoura e o ambiente é desfavorável para o percevejo. Para emigrar, ele necessita alimentar-se e armazenar energia para viabilizar o vôo para outras áreas. Assim, o percevejo barriga-verde suga a base de plântulas de milho, injetando saliva para facilitar a penetração dos estiletes e para solubilizar substâncias a serem extraídas. O milho é muito sensível a essa saliva. As folhas que crescem após o dano do inseto apresentam deformações, redução no crescimento e morte de plantas. Um sintoma típico do dano causado pelo percevejo é o aparecimento de folhas com orifícios dispostos em linha transversal ao limbo foliar. Quanto menor o tamanho da planta atacada, maior será o potencial de dano do percevejo (Gassen, 1996).

Outras espécies de percevejos reconhecidos como praga em soja não causam danos em áreas extensivas de milho.

O uso de inseticidas é a alternativa mais eficiente de controle da praga. As áreas com leguminosas e outras plantas hospedeiras no inverno devem ser monitoradas, e a população do inseto deverá ser determinada. O cultivo de plantas armadilhas (ervilhaca) nas bordas de lavouras ou em faixas através das áreas destinadas a cobertura vegetal no inverno poderá atrair percevejos. O controle poderá ser feito em plantas hospedeiras com a aplicação localizada de inseticidas.

A mistura de inseticidas com herbicidas na dessecação provoca a morte parcial do percevejo e de, praticamente, todos os inimigos naturais.

A alternativa mais eficiente é o monitoramento da praga e a aplicação de inseticidas no momento da semeadura ou no início da emergência de plântulas, nas áreas com mais de um percevejo por m².

Formigas, *Atta* spp. *E. Acromyrmex* spp. (Hym., Formicidae)

As formigas não consomem as folhas transportadas para os seus ninhos. Elas usam as plantas para cultivar fungos dos quais se alimentam (Gallo et al., 1988). São especializadas em identificar substâncias tóxicas e, por isso, o seu controle torna-se difícil com o uso de inseticidas e com microrganismos. Os inseticidas clorados, por serem persistentes e estáveis, foram usados com sucesso em iscas granuladas. Com a proibição desses inseticidas, as alternativas para o controle de formigas voltaram a ser os produtos na formulação pó-seco ou a nebulização (Gassen, 1996).

Sabe-se que a instalação de novos formigueiros acontece, principalmente, em solos desnudos, devido à ausência de inimigos naturais. Observações preliminares indicam menor ocorrência de novos formigueiros em áreas sob PD, provavelmente pela presença de inimigos naturais que se desenvolvem sob a palha na superfície. Por essa razão, também, torna-se importante evitar o uso de inseticidas misturados com herbicidas na dessecação para controle preventivo.

Literatura citada

- ALVARADO, L. 1979. Comparación poblacional de "gusanos blancos" (larvas de Coleopteros Scarabaeidae) en tres situaciones de manejo. INTA-Generalidades, n.16, p.1-5.
- _____; IZQUIERDO, J.A.; ENECOIZ, M.A. 1981. Eficacia del tratamiento de semillas de maíz con carbofuran sobre larvas de *Diloboderus abderus* (Sturm). Actas del congreso nacional de maíz., 2. p.168-177.

- ALZUGARAY, M.D.R. 1986. Influence of cover cropping and no-tillage practices on the soil arthropod community of corn agroecosystems. North Carolina State University: USA, 69p. M.Sc. Thesis.
- ARAGÓN, J.R.; MOLINARI, A.; LORENZATI DE DIEZ, S. 1997. Manejo integrado de plagas. **In:** Giorda, L.M.; Baigorri, H.E.J. ed. El cultivo de la soya en Argentina. INTA. p.247-288.
- ÁVILA, C.J.; RUMIATTO, M. 1997. Controle químico cultural do “coró” *Liogenys* sp. (Coleoptera: Scarabaeidae), em trigo (*Triticum aestivum* L.). **In:** Congresso Brasileiro de Entomologia, 16., Salvador. Resumos... Salvador: SBE. p.309.
- BAUCKE, O. 1965. Notas taxonômicas e biológicas sobre *Diloboderus abderus* (Sturm, 1826) Coleoptera-Scarabaeidae-Dynastinae. Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária, v.7, p.113-135.
- BERTELS, A. 1970. Pragas do trigo no campo e seu combate. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.5, n.3, p.81-89.
- BIANCO, R. 1985. Ocorrência de pragas no plantio direto x convencional. **In:** Fancelli, A.L. Atualização em plantio direto. Campinas: Fundação Cargill. p.183-193.
- BONILHA, S.M.P. 1991. Criação em laboratório, preferência alimentar e reprodução de *Phyllocaulis soleiformes* (Orbigny, 1835), *Belocaulus* (Heynemann, 1885) e *Sarasinula linguaeformis* (Semper, 1885) (Mollusca, Gastropoda, Veronicellidae). Porto Alegre: PUC. 153p. Tese Mestrado.
- BOSCH, R.; MESSENGER, P.S.; GUTIERES, A.P. 1982. An introduction to biological control. New York: Plenum Press. 247p.
- CARVALHO, A.O.R. 1982. Pragas e seu controle. **In:** Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina. O milho no Paraná. Londrina: IAPAR. p.141-148.
- CORSEUIL, E.; CRUZ, F.Z.; MEYER, L.M.C. 1974. Insetos nocivos à cultura da soja no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS. 36p.
- COSTA, E.C.; LINK, D. 1989. Ocorrência de *Anurogryllus muticus* em gramados. **In:** Reunião Sul-Brasileira de Insetos de Solo, 2., 1989, Londrina, PR. Ata. Londrina: EMBRAPA-CNPSO. p.20.
- COSTA, R.G. 1958. Alguns insetos e outros pequenos animais que danificam plantas cultivadas no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS. 296p.
- CRUZ, I. 1992. Metodologia e resultados de pesquisa com tratamento de sementes envolvendo pragas iniciais da cultura do milho. **In:** Reunião sobre Pragas Subterrâneas dos Países do Cone Sul, 2., 1992, Sete Lagoas. Anais. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS. p.145-156.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA-NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C.; BERTI-FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D. 1988. Manual de entomologia agrícola. São Paulo: Ceres. 649p.
- GASSEN, D.N. 1999a. Benefícios de escarabeídeos em lavouras sob plantio direto. **In:** Reunião Latino-Americana de Scarabaeoidologia, 4., 1999. Viçosa. Memórias. Londrina: Embrapa Soja. p.123-132.
- _____. 1993b. Biologia e manejo de Scarabaeoidea associados à agricultura. **In:** Reunião Sul-Brasileira de Insetos de Solo, 4., 1993, Passo Fundo, RS. Anais. Passo Fundo: EMBRAPA/SEB. p.75-96.
- _____. 1992a. Classificação de pragas de solo de acordo com o habitat e com os hábitos alimentares. **In:** Reunião sobre Pragas Subterrâneas dos Países do

- Cone Sul, 2., 1992, Sete Lagoas, MG. Anais. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS. p.179.
- GASSEN, D.N. 1993c. Controle de larvas do coró-da-pastagem, *Diloboderus abderus*, com inseticidas no tratamento de semente de trigo. **In:** Reunião Sul-Brasileira de Insetos de Solo, 4., 1993, Passo Fundo, RS. Anais. Passo Fundo: EMBRAPA/SEB. p.158-159.
- _____. 1993d. Corós associados ao sistema plantio direto. **In:** EMBRAPA-CNPNT. FUNDACEP FECOTRIGO. Fundação ABC. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte. p.141-149.
- _____. 1999b. Dinâmica da entomofauna em agroecossistemas sob plantio direto. **In:** Seminário sobre o Sistema Plantio Direto na UFV, 2., 1999, Viçosa. Anais. Viçosa: UFV. p.23-53.
- _____. 1984b. Insetos associados à cultura do trigo no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPNT. 39p.
- _____. 1992b. Insetos associados ao sistema plantio direto. **In:** Congreso Interamericano de Siembra Directa, 1. / Jornadas Binacionales de Cero Labranza, 2., 1992, Vila Giardino, Córdoba. Trabajos presentados. Vila Giardino, Córdoba: AAPRESID. p.253-276.
- _____. 1989. Insetos subterrâneos prejudiciais às culturas no sul do Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPNT. 49p.
- _____. 1999c. Manejo de *Diloboderus abderus* em lavouras e pastagens no Sul do Brasil. **In:** Reunião Latino-Americana de Scarabaeoidologia, 4., 1999, Viçosa. Memórias. Londrina: Embrapa Soja. p.113-122.
- _____. 1996. Manejo de pragas associadas à cultura do milho. Passo Fundo: Aldeia Norte. 127p.
- _____. 1993e. O manejo de pragas no sistema plantio direto. **In:** EMBRAPA-CNPNT. FUNDACEP FECOTRIGO. Fundação ABC. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte. p.129-139.
- _____. 1986. Parasitos, patógenos e predadores de insetos associados à cultura do trigo. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPNT. 86p.
- _____. 1994. Pragmas associadas à cultura de milho. Passo Fundo: Aldeia Norte. 90p.
- _____. 1987. *Sternechus subsignatus*, como praga da soja. Porto Alegre: EMATER-RS/EMBRAPA-CNPNT. 2p.
- _____; BRANCO, J.P.; SANTOS, D.C. 1984. Observações sobre controle de *Phytalus sanctipauli* (Col., Melolonthidae), coró do trigo. Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, v.13, p.120-127.
- _____; JACKSON, T. 1992. Some aspects of scarabaeid pests and their pathogens in Southern Brazil. **In:** Jackson, T.A.; Glare, T.R. ed. Use of pathogens in scarab management. Andover, Hampshire: Intercept. p.281-285.
- _____; KOCHHANN, R.A. 1993. *Diloboderus abderus*: benefícios de uma praga subterrânea no sistema plantio direto. **In:** Encontro Latino-Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, 1., 1993, Ponta Grossa, PR. Anais. Ponta Grossa: IAPAR. p.101-107.
- _____; SCHNEIDER, S. 1992. Características morfológicas e hábitos reprodutivos de *Diloboderus abderus*. **In:** Reunião sobre Pragmas Subterrâneas dos Países do

- Cone Sul, 2., 1992, Sete Lagoas, MG. Anais. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS. p.169.
- GUERRA, M.S.; LOECK, A.E.; RUDIGER, W.H. 1976. Levantamento das pragas de solo da região tritícola do Rio Grande do Sul. *Divulgação Agrônômica*, v.40, p.1-5.
- LINK, D.; KNIES, G. 1973. Aspectos bionômicos sobre as lagartas-rosca que ocorrem em Santa Maria, RS. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v.2, n.1, p.66-73.
- LOECK, A.E.; GARCIA, M.S.; GUSMÃO, L.G. 1993. Ocorrência da formiga preta *Camponotus (Tanaemyrmex) sp.* em pastagens na zona sul do estado do Rio Grande do Sul. **In:** Reunião Sul-Brasileira de Insetos de Solo, 4., 1993, Passo Fundo, RS. Anais. Passo Fundo: EMBRAPA/SEB. p.164.
- MATIOLI, J.C.; FIGUEIREDO, A.R.; PÁDUA, J.G. 1987. Ocorrência e flutuação populacional de *Astylus variegatus* (Germar, 1894) e *A. sexmaculatus* (Perty, 1830) (Col., Dasytidae) em Maria da Fé, MG. **In:** Congresso Brasileiro de Entomologia, 11., Campinas, SP.
- MOREY, C.S.; ALZUGARAY, R. 1982. Biología y comportamiento de *Diloboderus abderus* (Sturm) (Coleoptera: Scarabaeidae). Montevideo: Dirección de Sanidad Vegetal. 44p.
- MURRAY, D.A.H.; WICKS, R.; BAILEY, P.; SWINCER, D. 1984. Baiting for soil-dwelling insects. *Proceedings of the Fourth Australian Applied Entomological Research Conference*. p.268-273.
- OLIVEIRA, L.J. 1999. Manejo de *Phyllophaga cuyabana* (Moser) em culturas graníferas no Brasil. **In:** Reunião Latino-Americana de Scarabaeoidologia, 4., 1999, Viçosa. Memórias. Londrina: Embrapa Soja. p.93-98.
- _____; HOFFMAN-CAMPO, C.B. 1993. Flutuação populacional e comportamento de larvas de escarabeídeos em soja. **In:** EMBRAPA-CNPSo, Resultados de pesquisa de soja 1989/90. Londrina. p.46-47.
- PAIVA-NETO, A. 1973. Informe preliminar sobre nova praga do trigo: *Hyperodes bonariensis* Kuschel, 1955. Passo Fundo: Secretaria da Agricultura. 9p.
- SANTOS, B. 1992. Bioecologia de *Phyllophaga cuyabana* (Moser 1918) (Coleoptera: Scarabaeidae), praga do sistema radicular de soja [*Glycine max* (L.) Merrill, 1917]. Piracicaba: ESALQ-USP. 111P. Tese Mestrado.
- SILVA, A.G.A.; GONÇALVES, C.R.; GALVÃO, D.M.; GONÇALVES, A.J.L.; GOMES, J.; SILVA, M.N.; SIMONI, L. 1968. Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil; seus parasitos e predadores. Rio de Janeiro: Laboratório de Patologia Vegetal. p2, t1. 622p.
- SILVA, M.T.B. 1995. Aspectos biológicos, danos e controle de *Diloboderus abderus* Sturm (Coleoptera: Melolonthidae) em plantio direto. Santa Maria: UFSM. 76p. Tese Mestrado.
- SILVA, M.T.B. 1992. Manejo de insetos no plantio direto em Cruz Alta, Rio Grande do Sul. **In:** Congreso Interamericano de Siembra Directa, 1./Jornadas Binacionales de Cero Labranza, 2., 1992, Vila Giardino, Cordoba. Trabajos presentados. Vila Giardino, Cordoba: AAPRESID. p.80-98.

Principios de manejo integrado de plagas y biocontrol en siembra directa *

Christopher JH Pruett ** e Ivett Guamán ***

Resumen

Entre los problemas actuales de plagas que se presentan en los cultivos principales bajo sistemas de siembra directa, algodón, girasol, soja, sorgo, trigo y maíz, están los pulgones, chinches pentatómidas, langostas o acrididos, como *Schistocerca* spp., comedores de plántulas y raíces como larvas elatéricas, escarabaeidas, curculiónidas y crisomélidas; también gusanos cortadores, *Agrotis* spp., que habitan en el suelo y constituyen un problema algunos años, especialmente en cultivos sembrados en rastrojos verdes. También *Spodoptera frugiperda* es un grave problema en maíz, sorgo y trigo, mientras *Elasmopalpus lignosellus* es perjudicial en trigo en años secos. El mediador o cuarteador, *Mocis latipes*, puede defoliar completamente cultivos de maíz en invierno en siembra convencional y en siembra directa donde no se controló malezas gramíneas. En Bolivia, en 1994/95, en soja, se encontraron tres picudos en mayor incidencia, *Sternechus pinguis*, *Hypsonotus* sp. y *Promecops* sp., y el crisomélido, *Myochrous* sp. Sin embargo se han desarrollado medidas de manejo, a través de rotación de cultivos, cultivos trampas, cordones o barreras vivas y el control de defoliadores lepidópteros con productos selectivos. En 1996/97 la mosquita blanca, *Bemisia tabaci* presenta, a veces, poblaciones muy altas, probablemente debido al abuso de agroquímicos y mal manejo del agroecosistema, requiriendo control con insecticidas en soja y algodón en años secos. Las chinches pentatómidas fueron serios problemas, incluso desarrollando resistencia, provocando retención foliar y provocando la aparición de nuevas plagas hasta la implementación de rotación de cultivos y el uso de insecticidas selectivos contra *Anticarsia gemmatalis* permitió su control por enemigos naturales.

Desde hace cinco años el girasol puede sufrir hasta una defoliación total por *Spodoptera sunia* y *Spodoptera eridania* en siembra convencional y en siembra directa donde no se controló adecuadamente las malezas *Amaranthus* spp., hospederas iniciales de *S. sunia* y *S. eridania* (comunicación personal Jan Landivar, 1999); desde 1997 hay pérdidas debidas a la mosquita del capítulo del girasol, *Melanagromyza minimoides*, desde 30 a 100 % de semillas atacadas. Recién, desde 1998, hay estudios de su comportamiento, su control químico y enemigos naturales, recomendando su control con *lambda*-cifertrina (Karate) cuando 10 % de las flores están con las primeras anteras. Su control está aún más complicado por la desuniforme floración del cultivo en Santa Cruz.

En la agricultura se cuenta con varios insecticidas biológicos y fisiológicos para el control de plagas, respetando la fauna benéfica, cuya forma de aplicación es parte de una nueva tecnología como lo es el sistema de siembra directa. En los últimos dos años en Santa Cruz, Bolivia, se apareció una nueva plaga que ataca el capítulo de girasol, las espigas de sorgo y la soja en campos cerca al sorgo, identificada en espigas de sorgo como la polilla polífaga, *Pococera atramentalis*, aunque en girasol podía ser *Homoeosoma* sp. Se debe hacer un buen monitoreo de los cultivos para saber la densidad y el estadio en que se encuentran las plagas para tomar cualquier decisión de medida de control.

La eliminación de la vegetación (malezas) en presiembra evita problemas con plagas como gusanos tierreros y acrididos. La expansión de la frontera agrícola ha sido significativa en los últimos diez años con el crecimiento de los cultivos de algodón, arroz, soja, trigo, girasol, sorgo, maíz, y, fundamentalmente, por las buenas perspectivas de exportación de torta y aceite de soja. Esta gran expansión fue efectuada con escasos criterios técnicos de sostenibilidad que, junto con la excesiva aplicación de plaguicidas ha desarrollado una agricultura destructiva. Este abuso ha desarrollado resistencia en algunas plagas y el surgimiento de plagas secundarias, y/o nuevas, debido a la eliminación de enemigos naturales y la contaminación del medio ambiente.

* Presentado en "Jornada Técnica de Siembra Directa", auspiciado por GTZ y MAG, Bella Vista, Paraguay, 30 de octubre a 3 de noviembre de 2000.

** BSc (Hons). MIBiol. CBiol. FRES. FRGS. IIA «El Vallecito», FCA, UAGRM, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Telefax: 591 3 534510 y 422130. Email: crinel@bibosi.scz.entelnet.bo

*** Ing. Agr. MSc (Suelos) Especialista en artrópodos en siembra directa. IIA "El Vallecito", FCA, UAGRM, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Telefax 591 3 534510 y 422 130. E-mail: valleuniv@mail.costas.com.bo

Introducción

Siembra directa es un sistema de cultivo que surge como alternativa a la degradación de los suelos, producida, en gran parte, por mal uso de implementos agrícolas. En el sistema de siembra directa se puede desarrollar con mayor éxito un Manejo Integrado de Plagas. Los rastrojos sirven de refugio a gran cantidad de organismos, si bien algunos pueden ser plagas de los cultivos, muchos otros son controladores o enemigos naturales, como los depredadores carábidos que son muy activos tanto sus larvas como los adultos. Además hay descomponedores de materia orgánica y el proceso de reciclado de nutrientes se logra a través de estos organismos en lugar de los medios mecánicos. También hay artrópodos y lombrices que hacen galerías en el suelo permitiendo que el agua y los nutrientes circulen.

Entre los problemas actuales de plagas que se presentan en siembra directa están los pulgones, chinches pentatómidas, langostas como *Schistocerca* spp., comedores de plántulas y raíces como larvas elatéridas, escarabaeidas, curculiónidas y crisomélidas; también gusanos cortadores, *Agrotis* spp., que habitan en el suelo y constituyen un problema algunos años, especialmente en cultivos sembrados en rastrojos verdes, y *Spodoptera frugiperda*. En Santa Cruz, Bolivia, en 1994/95, en soja, se encontraron tres picudos con mayor incidencia, *Sternechus pinguis*, *Hypsonotus* sp. y *Promecops* sp., y el crisomélido, *Myochrous* sp. En 1996/97 la mosquita blanca, *Bemisia tabaci* presentó poblaciones muy altas, probablemente debido al abuso de agroquímicos y un mal manejo del agroecosistema, requiriendo control con insecticidas en soja y algodón.

En la actualidad se cuenta con varios insecticidas biológicos para el control de plagas, respetando la fauna benéfica, cuya forma de aplicación es parte de una nueva tecnología como lo es el sistema de siembra directa. Los umbrales económicos con que se aplican son diferentes a los umbrales económicos de los insecticidas organosintéticos convencionales y se debe hacer un buen monitoreo de los cultivos para saber la densidad y el estadio en que se encuentran las plagas. Paralelo a esto se debe hacer un manejo integrado de malezas, pues algunos herbicidas afectan también a los insectos benéficos. La eliminación de la vegetación (maleza) en presiembra evita problemas con plagas como gusanos tierreros y langostas o acrididos.

La expansión de la frontera agrícola ha sido significativa en los últimos diez años con el crecimiento de los cultivos de soja, trigo, girasol, sorgo, maíz, algodón, y, fundamentalmente, por las buenas perspectivas de exportación de torta y aceite de soja. Esta gran expansión fue efectuada con escasos criterios técnicos de sostenibilidad que, junto con la excesiva aplicación de plaguicidas ha desarrollado una agricultura destructiva. Este abuso ha desarrollado resistencia en algunas plagas, ha provocado surgimiento de plagas secundarias, y/o nuevas, debido a la eliminación de enemigos naturales, contaminación del medio ambiente, con efectos perjudiciales a la salud humana y de los animales, y la presencia de residuos tóxicos en los alimentos que puede causar intoxicaciones crónicas y agudas.

La explotación agrícola, realizada sin las mejores condiciones agroecológicas, como es el caso de Santa Cruz, Bolivia y de otras áreas del Cono Sur, contribuye significativamente a la erosión eólica e hídrica y también, a la pérdida de fertilidad del suelo al cabo de algunos años. Usándose técnicas agrícolas apropiadas esta destrucción de los suelos, de la fauna y flora benéfica y del ecosistema puede frenarse. Ante este problema surgen paralelamente, como alternativa el sistema de siembra directa y el manejo integrado de plagas.

El colapso de los sistemas de control

El enorme suceso de los insecticidas organosintéticos, como DDT y BHC, después de la segunda guerra mundial (1945), comenzó una nueva era en el control de plagas. Esos dos productos fueron seguidos por cientos de plaguicidas organosintéticos. El número de plaguicidas registrados fue incrementando de 30 en 1936 a más de 900 en 1971, y a 1.500 ingredientes activos y 35.000 productos en 1991 solamente en los EEUU, mientras la venta mundial en 1991 de plaguicidas valía alrededor de 34 mil millones de dólares. Al poco tiempo se comenzó a observar que algunos insectos obtuvieron resistencia a muchos insecticidas y éstos causaban la muerte de insectos benéficos, junto con problemas ambientales y la acumulación de residuos tóxicos de agroquímicos a través de la cadena trófica.

Modelo de protección de cultivos

Smith (1969) clasificó los modelos de protección de cultivos en cinco fases, y Andrews & Quezada (1993) aumentaron una nueva quinta fase «control o manejo supervisado».

Fase de subsistencia

El cultivo, usualmente desarrollado bajo condiciones no irrigadas, como parte de la agricultura de subsistencia.

Fase de explotación

Son desarrollados programas de protección de cultivos para proteger nuevos terrenos de expansión, nuevas variedades o nuevos mercados, y, en la mayoría de las instancias, el programa de control de plagas depende solamente de plaguicidas químicos. Estos son usados intensivamente, a veces en programas fijos y, a veces, como tratamientos profilácticos, aunque la plaga esté presente o no. Al comienzo esos programas tienen efecto y son exitosos, resultando en altas producciones de alimentos o fibras, y los plaguicidas químicos son usados al máximo.

Fase de crisis

Después de un variable número de años en la fase de explotación, y mucho uso de plaguicidas, ocurre una serie de eventos: son necesarias aplicaciones más frecuentes de plaguicidas y dosis más altas para obtener un control efectivo. La población de plagas secundarias inesperadas aumentan causando grandes incrementos en el costo de producción.

Fase de desastre

El uso de plaguicidas y la presencia de plagas resistentes y nuevas plagas, a veces ya resistentes también a plaguicidas, incrementan los costos de producción hasta que el cultivo no puede desarrollarse porque no puede tener comercialización provechosa. Los residuos tóxicos de plaguicidas en el suelo y en productos agrícolas pueden tener niveles altos que no son permitidos por la ley. Aplicaciones repetidas, a veces, mezclas de dos o más insecticidas, en corto tiempo producen cosechas no aceptadas en las fábricas de procesamiento y conservación, ni vendidas frescas, tampoco sirven para exportación. Ahí viene el colapso de la existencia del programa de control de plagas.

Fase de control supervisado

Esta fase es esencial para el traspaso de las fases anteriores a la fase de Manejo Integrado de Plagas e involucra un gran aumento en servicios de extensión agrícola a

través de organizaciones e instituciones no necesariamente involucradas en la promoción o venta, directa o indirectamente, de agroquímicos.

Esta fase abarca el uso adecuado y seguro de agroquímicos, el reconocimiento y observación de los umbrales económicos de plagas, el reconocimiento de los diferentes tipos de enemigos naturales y como aprovecharlos, más el entendimiento de los conceptos de Manejo Integrado de Plagas y su implementación.

Fase de Manejo Integrado de Plagas

Son implantados programas de control de insectos, que acepten y utilicen factores ecológicos y compatibilidad con las medidas de control. El concepto del Manejo Integrado de Plagas es «optimizar el control antes que maximizarlo». Lo lamentable es que existe una mayor venta de plaguicidas tóxicos que plaguicidas biológicos, selectivos o fisiológicos, los cuales se aplican menos que los altamente tóxicos, quienes, por su naturaleza inician el círculo del veneno. La aplicación de más y mayores cantidades de plaguicidas (como drogas), con jugosas ganancias (a corto plazo) para los vendedores de agrotóxicos, tiene consecuencias espantosamente terribles, muchas veces ocultos al público.

Manejo Integrado de Plagas

Un programa adecuado de Manejo Integrado de Plagas (enfermedades, malezas, insectos, ácaros, nemátodos, roedores y aves) es esencial para el buen rendimiento de cualquier cultivo, y por ser uno de los temas centrales de las prácticas agronómicas.

Además el control biológico, junto con la fauna benéfica (polinizadores, saprófagos y enemigos naturales), es la piedra angular de cualquier programa moderno de Manejo Integrado de Plagas, basado ampliamente sobre estudios sinecológicos del complejo de plagas, su bionomía, y la fauna benéfica existente en los agroecosistemas.

Manejo Integrado de Plagas (MIP) consiste en el uso inteligente de todos los métodos disponibles, adecuados (legislativos, mecánicos/físicos, culturales, fitogenéticos, etológicos, biológicos y químicos) con el objetivo de mantener o reducir las poblaciones de plagas a niveles inferiores a los que causarían daños económicos al cultivo (umbrales económicos), con daños mínimos a la salud humana, al medio ambiente y a los organismos benéficos (enemigos naturales, lombrices, saprófagos, polinizadores, etc.).

Control biológico

Control biológico se define como la regulación de poblaciones de organismos vivos como resultado de interacciones antagónicas entre ellas; depredación y parasitismo son ejemplos de interacciones antagónicas.

También se define el control biológico, en su sentido más amplio, como «la acción de parasitoides, depredadores, patógenos y competidores para mantener la densidad de una población de otro organismo a un nivel más bajo del que ocurrirá en su ausencia. Este método de combate de organismos perjudiciales ha recobrado actualidad en el concepto moderno de «Manejo Integrado de Plagas» (MIP), donde los factores naturales de regulación juegan un rol preponderante.

Un sistema adecuado de Manejo Integrado de Plagas debe estar dentro del marco de preceptos ecológicos, económicos y sociales que son la base del manejo de plagas, y con mínima interferencia en el agroecosistema.

Umbral económico

El umbral económico se puede definir sencillamente como el nivel de daño o de plagas que justifica la toma de medidas necesarias para su control. También se define el umbral económico como el punto en que el nivel de daño, o el nivel de la plaga, que justifique tomar medidas de control y que el beneficio obtenido, en términos del precio del producto cosechado, tenga una relación de más que 1:1 en términos de los costos de las medidas de control.

Hay que tener en cuenta que la sola presencia de un cierto número de plagas en un cultivo no se traduce necesariamente en una disminución de calidad o cantidad de la cosecha, por lo menos en términos que justifiquen el costo de las medidas de control, si es que se aplican.

Esto está ligado íntimamente al tipo de plaga, fase de desarrollo del cultivo, de las plagas y sus enemigos naturales, estado sanitario y vegetativo del cultivo, las condiciones ambientales favorables, o no al desarrollo de la plaga, así como la presencia en cantidad y calidad de los enemigos naturales (entomopatógenos, parasitoides y depredadores).

Muestreo

A través del muestreo que se realiza en campo se puede conocer la densidad poblacional de las plagas, o sus daños. Para obtener un muestreo efectivo de las plagas se debe contar con un observador o plaguero (cuenta bichos) con los equipos necesarios, como lupa, formularios, frasquitos, morral, etc., para que desarrolle este trabajo básico y esencial.

Reconocimiento de plagas y sus enemigos naturales

En cualquier programa de Manejo Integrado de Plagas es de importancia fundamental el reconocimiento de plagas claves y sus enemigos naturales, su bionomía, sus fluctuaciones poblacionales y factores de mortalidad natural en el campo.

Etapas del Manejo Integrado de Plagas

- Reconocimiento de las plagas más importantes (plagas claves)
 - Identificación taxonómica.
 - Bionomía (biología, hábitos, hospederos, etc.).
- Evaluación poblacional
 - Muestreo común y muestreo secuencial.
- Conocimiento o determinación de los umbrales económicos
 - Fenología de la planta.
 - Perjuicios de la plaga, costo de su control, costo de producción y precio del producto cosechado.
- Evaluación de los enemigos naturales de las plagas (mortalidad natural en el agroecosistema).
 - Técnicas de crianza y disponibilidad de enemigos naturales para liberación y control de plagas.
 - Técnicas de producción y disponibilidad de patógenos para aplicar a los cultivos para el control de plagas.

- Conocimiento y estudio de los factores climáticos que afectan la dinámica poblacional de las plagas y sus enemigos naturales.
- Evaluación de los métodos más adecuados para incorporar en un programa de manejo integrado de plagas.
- Escoger el plaguicida más adecuado (cuando sea necesario), tomando en cuenta:
 - Selectividad.
 - Poder residual.
 - Eficiencia y modo de acción.
 - Dosis Letal 50 (toxicidad).
 - Período de carencia.
 - Precio del producto.

Métodos de Manejo Integrado de Plagas

Métodos legislativos (basados sobre leyes estatales o departamentales)

Servicio cuarentenario

Nacional, regional y departamental para evitar el ingreso de plagas exóticas; por ejemplo: nuevas plagas de algodón y soja de Brasil, Perú o Paraguay a Bolivia, como el nemátodo de quiste, *Heterodera glycines* (Ichinoe) (Nematoda, Heterodidae) y el picudo mexicano, *Anthonomus grandis* (Boheman) (Coleoptera, Curculionidae), de Brasil o de Paraguay, debido al transporte de fibra a Perú a través de Bolivia u otra actividad humana, además el ingreso del picudo peruano, *Anthonomus vestitus* (Boheman), y otras plagas de Perú.

Medidas obligatorias de control

Por ejemplo la destrucción de residuos del cultivo de algodón hasta el 15 de julio (Decreto Supremo boliviano) para el control de la lagarta rosada *Pectinophora gossypiella* Saunders, (Lepidoptera, Gelechiidae) y, al mismo tiempo, el picudito, *Conotrachelus denieri* (Hustache) y el picudo mexicano, *A. grandis*, y peruano, *A. vestitus*.

Fiscalización del comercio de agroquímicos

Para evitar el contrabando, productos ilegales y adulteración de productos, además la venta y uso ilegal en el campo de estos productos, o productos prohibidos. Establecer e implementar los límites de tolerancia de residuos tóxicos en los alimentos, igual que los períodos de carencia (tiempo que debe pasar después de la aplicación de un plaguicida hasta se puede entrar al campo o cosechar el cultivo) y el uso correcto de plaguicidas en el campo.

Métodos físicos/mecánicos

En algodón la recolección y destrucción de botones florales rosados o dañados para el control de la lagarta rosada y, parcialmente, el picudito. Recolección y destrucción de chinches tintóreas manualmente en pequeñas parcelas.

Métodos culturales

Rotación de cultivos

Una de las medidas más importantes del MIP consiste en la siembra alternativa de cultivos que no son hospederos de las mismas plagas, por ejemplo los picudos (*Sternechus pinguis*, *Hypsonotus* sp. y *Promecops* sp.), el nemátodo de quiste, *H. glycines*

y cancro de la soja, las cuales son plagas obligatorias a la soja o leguminosas y no ataca gramíneas u otras familias de cultivos, y la lagarta rosada y los picudos del cultivo del algodón.

Época de siembra

Observar las épocas de siembra recomendadas, especialmente para algodón, girasol, soja y trigo; usar variedades recomendadas, precoces o de ciclo corto, con espaciamiento y densidad adecuado, además semilla de calidad para el buen establecimiento del cultivo. En cultivos como algodón y trigo se considera que el uso de curasemilla es esencial para asegurar el establecimiento del cultivo, controlando ataques de pulgones vectores de enfermedades azul, thrips y, parcialmente, otras plagas tempranas como gusanos tierreros, chinches castañas, gusanos alambres, gusanos blancos o gallinas ciegas, picuditos, grillos, grillotopos y el barrenador menor.

Cultivos o plantas trampas

Especialmente útiles y eficaces en soja y algodón; con las primeras lluvias sembrar 10 a 12 metros (el tamaño de la anchura del cultivo trampa depende de la anchura de la sembradora y del agujón de la fumigadora) alrededor de los lotes para atraer y, luego, eliminar adultos de picudos, *Sternechus* spp., *Hypsonotus* sp. y *Promecops* sp., u otras plagas de soja, a través de aplicaciones de plaguicidas selectivos si es posible, o el uso de biocontrol inoculativo como la liberación o aplicación de enemigos naturales; por ejemplo avispidas sceliónidas contra chinches pentatómidas y el entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin (Deuteromycetes, Moniliales, Monilaceae) contra picudos, chinches pentatómidas y larvas lepidópteras. Estos cultivos trampas se mantienen durante todo el ciclo del cultivo principal, sembrado en el mismo campo 2 ó 3 semanas después; además sirven como sistemas de «alarma» para anticipar ataques de otras plagas, como chinches, defoliadores y barrenadores, a los cultivos principales debido al estado fenológico más avanzado del cultivo trampa, donde llegan las plagas primero.

Cortinas rompevientos

Las cortinas rompevientos sirven como protección del viento y, por consiguiente, de la erosión eólica. Las plantas que se encuentran en ellas sirven de hospederos a algunas plagas, pero todo este medio no perturbado sirve además de refugio a insectos benéficos (carábidos, cicindélidos, estafilínidos depredadores, parasitoides de plagas y otros insectos descomponedores de rastrojos) y entomopatógenos. Los insectos benéficos adultos se alimentan de las flores que en ella existen y sobreviven alimentándose de insectos que habitan en las cortinas. También las cortinas rompevientos forman una barrera natural que impide o previene la migración de adultos del picudo negro, *Sternechus*, de un terreno donde atacó soja durante el verano anterior, ahora con otro cultivo como maíz, donde los adultos suben a los puntos de las plantas para volar, debilmente, a cultivos de soja adyacentes. Además, según Gassen, los adultos de *Sternechus* no pueden desarrollar sus músculos para volar si no se alimentan con soja u otra leguminosa.

Manejo de malezas

Dejar cantidades no perjudiciales de malezas compuestas o euforbiáceas para proveer alimentación (néctar y polen) para ciertos enemigos naturales (depredadores y parasitoides) de las plagas. La desecación de malezas o los restos vivos del cultivo anterior es primordial para un exitoso manejo de plagas en siembra directa, para evitar la presencia de gusanos cortadores, grillos, langostas y otras plagas polífagas y la pérdida de plántulas recién nacidas.

La eliminación de malezas malváceas es importante en algodón para eliminar hospederos alternativos, de las chinches tintóreas, *Dysdercus* spp. (Hemiptera, Heteroptera, Pyrrhocoridae).

Desde 1993, en siembra directa en Santa Cruz, había problemas en cultivos sembrados en campos con malezas o restos de cultivos de sorgo, debido a ataques por *Schistocerca* spp. (Orthoptera, Acrididae), otros acrididos y gusanos cortadores como *Agrotis* spp. (Lepidoptera, Noctuidae). Eso es debido a la aplicación en el momento de sembrar de glifosato y la demora en secamiento de los rastrojos, con el consiguiente traslado de las plagas a la soja, que estaba pequeña, provocando graves daños y fue necesario realizar aplicaciones de insecticidas para su control. Este tipo de problema se puede evitar desbrozando lo más cerca posible al suelo y aplicando glifosato a los rebrotes dos semanas antes de la siembra, para que estas plagas que abruman mueran o emigren a otros lugares antes que el nuevo cultivo germine. En nuestras condiciones climáticas inestables y de sequía en invierno, hay resistencia por parte del agricultor a sembrar abonos verdes, prefiriendo dejar sus campos enmalezarse

Eliminación de rastrojos

La eliminación de los restos o rastrojos del cultivo es de vital importancia y esencial para controlar plagas en algunos cultivos y para evitar la proliferación de plagas, (mayormente enfermedades), siendo una medida sumamente importante en algodón contra *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera, Noctuidae), la lagarta rosada y los picudos.

Preparación del suelo

Una recomendación común es arar el suelo para destruir larvas y pupas de insectos por acción mecánica, también exponiéndolos a rayos solares y depredadores; por ejemplo gusanos blancos (Scarabaeidae), gusanos alambres (Elateridae) y larvas y pupas lepidópteras. Sin embargo esta técnica también destruye las lombrices y no deja rastrojos para la conservación de enemigos naturales, por ejemplo depredadores, como carábidos, y entomopatógenos como *Beauveria bassiana*.

Fertilización y riego adecuado

Una planta equilibrada nutricionalmente, sin estrés hídrico presenta mayor resistencia al ataque de plagas. También el riego por aspersión reduce las poblaciones de pulgones (Sternorrhyncha, [=Homoptera en parte], Aphididae), thrips (Thysanoptera, Thripidae) u otras plagas, como el barrenador menor, *Elasmopalpus lignosellus* Zeller (Lepidoptera, Pyralidae, Phycitinae).

Siembra directa

La siembra directa es un sistema que surge como alternativa a la degradación de los suelos, producida, en gran parte, por el mal uso de implementos agrícolas. En el sistema de siembra directa se puede desarrollar con mayor éxito programas de Manejo Integrado de Plagas.

Sistemas de siembra directa deben ser ocupados con una sabia rotación de cultivos para evitar la proliferación de enfermedades, como el cancro de la soja y otras plagas insectiles. Con labranza cero se ahorra tiempo, combustible, gastos de maquinaria y mano de obra. También se conserva la temperatura y estructura del suelo y normalmente, hay una mayor disponibilidad de nutrientes. Además se evita la pérdida de humedad en el suelo por no cultivarlo y por la presencia de los rastrojos encima del suelo, los cuales también previenen la erosión eólica e hídrica.

También los rastrojos disponen de protección física para los depredadores de las plagas y ofrecen fuentes de alimentación a través de grandes cantidades de artrópodos saprófagos en los rastrojos muertos. Los entomopatógenos de plagas como *Beauveria*

bassiana, *Metarrhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Monilaceae), *Paecilomyces* spp. (Monilaceae) y *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson (Monilaceae) sobreviven y multiplican en los rastrojos debido a su capacidad de tener dos tipos de reproducción, uno en insectos y artrópodos y el otro en material vegetal muerto (por eso podemos multiplicarlos en substratos artificiales, como arroz cocido, bagazo de caña de azúcar, etc.).

Además hay descomponedores de materia orgánica y el proceso de reciclado de nutrientes se logra a través de estos organismos en lugar de los medios mecánicos. También hay artrópodos (arañas, milpiés, larvas de coleópteros, etc.) y lombrices que hacen galerías en el suelo permitiendo que el agua y los nutrientes circulen por el mismo.

El rastrojo en la superficie del suelo es uno de los principales factores para la manutención de enemigos naturales de plagas en cultivos, siendo una práctica altamente deseable, pues crea condiciones ambientales que permiten la preservación del equilibrio natural.

La diversidad de la fauna del suelo es uno de los mejores indicadores de la calidad de vida del ambiente. En el suelo ocurren los eventos de mayor importancia para el equilibrio de poblaciones de los agroecosistemas. El sistema de siembra directa tiene efectos benéficos sobre algunas especies de fauna del suelo importantes en la descomposición de rastrojos de los cultivos y aireación del suelo, tales como miriápodos, moluscos, lombrices (*Oligochaeta*) e insectos, termitas, hormigas y coleópteros, provocando un aumento general en sus densidades poblacionales debido a la estabilidad de la temperatura y humedad y la ausencia de luz. En general la siembra directa favorece a gran cantidad de insectos, si bien algunos pueden ser plagas de los cultivos, muchos otros son controladores o enemigos naturales de plagas, como los depredadores de la familia Carabidae, que se los encuentra tanto en el suelo como en la parte aérea de las plantas.

En campos con siembra directa sobreviven insectos que en labranza convencional mueren por causa de la exposición a la radiación solar, la temperatura elevada y la falta de alimento en los períodos críticos. La temperatura del suelo en verano sobrepasa los 45° C en suelo desnudo, este ambiente es letal para los insectos.

En Brasil, a partir de 1972 se iniciaron programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP), recomendando el uso racional de insecticidas, con énfasis en control biológico y sistemas de siembra directa. Los rastrojos sobre el suelo juegan un papel vital en el control de insectos plagas. La reducción de preparación intensa del suelo y el aumento en siembra directa permitieron el resurgimiento de una fauna nativa diversificada entre descomponedores y enemigos naturales de plagas (Gassen, 1993).

La identificación correcta de las especies de plagas, el conocimiento del ciclo biológico, sus hospederos alternativos, sus hábitos alimenticios y los factores de mortalidad natural constituyen la base para el desarrollo del manejo de plagas para una agricultura económica y ecológicamente sostenible. En condiciones de siembra directa el manejo de plagas puede ser practicado en su plenitud ya que los enemigos naturales encuentran un ambiente favorable para su sobrevivencia.

En la actualidad se cuenta con varios productos biológicos para el control de plagas, entre ellos están inhibidores de quitina, hongos, bacterias y virus entomopatógenos que respetan la fauna benéfica, pero su forma de aplicación es parte de una nueva tecnología, como lo es el sistema de siembra directa. En el caso de aplicación de hongos, virus y bacterias, se debe tener cuidado con el pH del agua que debe ser neutro, aguas salinas pueden inactivar estos microorganismos. Paralelo a esto se debe hacer un manejo integrado de malezas, porque algunos herbicidas afectan también a la macro y micro fauna y flora benéfica.

El rastrojo en la superficie del suelo es uno de los principales factores para la manutención de enemigos naturales en cultivos, siendo una práctica altamente deseable para crear condiciones ambientales que permitan la preservación del equilibrio natural.

El manejo de los cultivos, a través del uso de los rastrojos, rotación y diversificación de cultivos, época de siembra, uso adecuado de plaguicidas, control de malezas e inspección de los bordes del cultivo, es necesario para un buen manejo integrado de plagas. Esta práctica, tan valiosa, debe ser ocupada con una sabia rotación de cultivos para evitar la proliferación de enfermedades, como el cancro de la soja y otras plagas insectiles. Con labranza cero se ahorra tiempo, combustible, gastos de maquinaria y mano de obra. También se conserva la temperatura y estructura del suelo y normalmente, hay una mayor disponibilidad de nutrientes. Además se evita la pérdida de humedad en el suelo por no cultivarlo y por la presencia de los rastrojos encima del suelo, los cuales también previenen erosión.

En Santa Cruz, en siembra directa, el daño del cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), es menor debido a niveles altos de depredación por reduvidos, tijeretas, *Doru lineare* Schz. (Dermaptera, Forficulidae), y carábidos como *Calosoma* spp. (Coleoptera, Carabidae) y parasitoidismo por moscas tachinidas.

Este resultado concuerda con Derpsch *et al.* (1994) que reportaron en Brasil la disminución de lepidópteros en maíz y trigo, pero encontraron aumento en especies como thrips, *Calliothrips* sp. y *Frankliniella* sp. (Thysanoptera, Thripidae) y la broca de las axilas de soja, *Epinotia aporema* Wals. (Lepidoptera, Olethreutidae).

Método de resistencia de plantas a plagas (métodos fitogenéticos)

Uno de los métodos fundamentales para el control de enfermedades es el uso de variedades resistentes, también para evitar ataques de insectos, ácaros, nemátodos y plagas vertebradas.

Por ejemplo la siembra de variedades de sorgo con la panícula abierta (no cerrada) para reducir el ataque de las polillas de las espigas, *Pococera atramentalis* (Lederer) (Lepidoptera, Pyralidae) y el uso de variedades de girasol con un comportamiento del capítulo que dificulta el ataque de pájaros sitófagos.

Métodos etológicos (métodos de control por comportamiento de la plaga)

Control con atrayentes y el uso de cebos tóxicos

- Para el control de gusanos tierreros, grillos y grillotopos (perritos del Señor), se utilizan cebos tóxicos basados en afrecho de trigo (2 kg), melazas (200 g), agua (600 ml) y triclorfon 80% (100 g), o metomil 21,5 % PS (150 g), aplicando esta cantidad de cebo tóxico en 1000 m².
- Para el control de adultos o mariposas de *Alabama*, *Trichoplusia*, *Heliopsis*, *Helicoverpa*, *Pectinophora*, *Spodoptera* u otro noctúidos se utilizan cebos tóxicos basados en melazas (1 kg), agua (10,l), metomil 21,5 % PS (25 g ia), colocando 0,5 l por 15 m lineales de surco a cada 50 m. También se puede probar insecticidas poco tóxicos como carbaryl y triclorfon en lugar de metomil.
- Para el control de chinches tintóreas se utilizan cebos tóxicos basados en 1 quintal de semillas trituradas de algodón mezclada con 0,5 kg de triclorfon, aplicando 250 g cada 10 surcos, a cada 20 m de distancia.
- El uso de sal de cocina, más insecticida, para controlar chinches pentatómidas en soja y arroz, lo cual permite rebajar la dosis del insecticida aplicado al cultivo por 50% utilizando 500g de sal por cada 100l de agua: también una mezcla más concentrada se puede utilizar como cebo tóxico.

Uso de feromonas artificiales

También llamadas atrayentes sexuales, son sustancias químicas producidas por insectos para atraer al otro sexo y consecuentemente utilizadas para el control de plagas. Hay feromonas sexuales comprobadas para cientos de especies de plagas mundialmente y se hacen esfuerzos para su monitoreo y control.

- En algodón, para el monitoreo de la lagarta rosada y el picudo mexicano se ocupan trampas con Gossyplure y Grandlure respectivamente.
- Para la confusión de machos y el control de la lagarta rosada y *Heliothis virescens* y *Helicoverpa zea* se colocan en el cultivo de algodón, a partir de 40-50 días, las feromonas artificiales Gossyplure y Virelure respectivamente, las cuales tienen un período de actuación hasta 120 días.
- Para el trampeo de adultos del picudo mexicano en algodón con «Tubo Mata Picudos» (T.M.P.), fabricados con feromonas, fagoestimulantes e insecticida (beta-cyfluthrin) se colocan 3/ha, distanciados 30 m entre cada uno y cambiados cada mes.

Estas medidas de control son ecológicamente sanas y no interfieren con otras medidas de control de plagas, ni con la actividad de enemigos naturales.

Control con hormonas

Hormonas endocrinas, a través de insecticidas hormonales o fisiológicos, son inhibidores de quitina, interfiriendo con las hormonas de los insectos inmaduros, previniendo la muda de su cutícula y, así, mueren las plagas afectadas.

Estos insecticidas fisiológicos son especialmente efectivos contra larvas o gusanos e insectos con metamorfosis completa, es decir: huevo, larva, pupa y adulto, particularmente larvas lepidópteras; por ejemplo: diflubenzuron (Dimilin), triflumuron (Alsystin) y chlorfluorbenzuron (Atabron).

Métodos físicos

- Fuego para controlar ninfas de langostas migratorias y salivazos, *Mahanarva* spp., *Zulia* spp. y *Aeneolamia* spp. (Auchenorrhyncha [=Homoptera en parte], Cercopidae), en pastos, especialmente *Brachiaria decumbens* (Poales, Gramineae).
- Inundación para controlar plagas del suelo como gusanos blancos y gusanos alambres.
- Riego por aspersión para controlar pulgones y thrips, también el cogollero, *S. frugiperda* en maíz.

Métodos de control biológico o de biocontrol

Natural

Conservación y manipulación de enemigos naturales a través del uso de insecticidas biológicos, fisiológicos, selectivos o específicos y el manejo adecuado de malezas como fuentes de alimentación para adultos de enemigos naturales. Además la aplicación de atrayentes, como melazas y levaduras, al cultivo para atraer depredadores como crisoperlas, crisopas, hemerobiidos y sírfidos, depredadores de pulgones, otros sternorrhynchos, thrips, huevos y larvas pequeñas de lepidópteros.

Aplicado

Clásico

Esta táctica consiste en la importación de enemigos naturales exóticos con la intención de controlar plagas exóticas, o nativas, sin enemigos naturales efectivos en uno o más estadios. Control biológico clásico, por su naturaleza, es una táctica que requiere de una infraestructura que, en la gran mayoría de los casos, sólo puede ser proporcionada por institutos de investigación, estaciones experimentales, u otros organismos gubernamentales, universitarios o similares. Los beneficios alcanzan a todas las áreas donde existan las plagas contra las que se importen enemigos naturales. Estos beneficios son permanentes siempre y cuando las condiciones del medio ambiente se mantengan favorables. Por ejemplo, moscas tachínidas para controlar chinches pentatómidas en arroz y soja; *Telenomus remus* Marsh (Hymenoptera, Scelionidae) contra *Spodoptera* spp. en maíz, soja, algodón y muchos otros cultivos, avispidas eurytómidas, bracónidas, chalcídidas y pteromáldas contra *Anthonomus* spp.

Inoculativo

Esta táctica involucra la liberación de depredadores o parasitoides, o la aplicación de patógenos, en forma limitada, una sola vez en un período crítico de la plaga, normalmente cuando las poblaciones de las plagas y enemigos naturales están a bajo nivel, para establecer un equilibrio en que las plagas no alcanzan los umbrales económicos; por ejemplo el uso de entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, *Metarrhizium anisopliae* y *Paecilomyces farinosus* (Holm ex S.F. Gray) Brown & Smith (Monilaceae) contra chinches, picuditos, picudos, belloteros y defoliadores en diversos cultivos, liberaciones de moscas taquínidas contra chinches pentatómidas en soja, liberaciones de *Telenomus remus*, parasitoide de huevos, contra *Spodoptera* spp., y liberaciones de avispidas bracónidas, *Bracon kirkpatricki* (Wilkinson) y avispidas betíldas para controlar la lagarta rosada en algodón.

Inundativo

Esta táctica involucra la inundación del cultivo con enemigos naturales a través de liberaciones masivas o aplicaciones de entomopatógenos en la forma de bioplaguicidas para controlar las plagas. A veces más de una aplicación o liberación del enemigo natural es necesaria. Por ejemplo: liberaciones de la avispidita *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera, Trichogrammatidae) contra huevos lepidópteros, pero no contra *Spodoptera* spp., también aplicaciones de entomopatógenos como *Beauveria* contra picudos y chinches, *Bacillus thuringiensis* Berliner (Eubacteriales, Bacillaceaea) (Dipel/Thuricide) contra larvas lepidópteras defoliadores, o, junto con un fagoestimulante (atrayente a comer) como «Gustol», contra belloteros, igual que *Baculovirus* contra *H. virescens*, *H. zea* y *S. frugiperda*.

Clases de enemigos naturales

- Vertebrados: zorros, zorrinos, carachupas, roedores insectívoros, murciélagos, víboras, serpientes, pájaros, lagartijas y sapos.
- Invertebrados: nemátodos, parasitoides (avispas, avispidas y moscas taquínidas), depredadores (ácaros, arañas e insectos como carábidos, coccinélidos, sírfidos, petos, crisopas, etc.).
- Microorganismos: bacterias, virus, hongos y protozoarios.

Clasificación de enemigos naturales

Nemátodos

Aspersiones del estado inmaduro de nemátodos entomófagos, como *Neoaplectana carpocapsae* Steiner (Nematoda, Merminthidae) que se puede criar en el laboratorio, ha sido aprobado contra muchas plagas. Sin embargo su uso es limitado debido a su necesidad para condiciones ambientales de alta humedad, su susceptibilidad a los rayos solares y problemas con su multiplicación en el laboratorio.

Ácaros

Muchas especies son depredadores entomófagos y naturalmente controlan plagas, especialmente otros ácaros, en diversos cultivos. Por ejemplo ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae normalmente mantienen tres especies de ácaros plagas bajo control en mandioca, cassava o yuca en Bolivia. Son depredadores polífagos y, a veces, tienen mucha importancia, tanto en cultivos perennes como en cultivos anuales. *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina, Phytoseiidae) es producida en gran escala en muchos países para el control de plagas, principalmente otros ácaros como *Tetranychus urticae* (Koch) (Acarina, Tetranychidae), en cultivos como frijol, frutillas y hortalizas.

Entomopatógenos

Hongos

Las principales especies de hongos empleadas en control biológico se usan asperjando sus esporas sobre el cultivo para provocar brotes de enfermedades que causan en ciertas plagas. Por ejemplo, en Brasil se producen comercialmente *Beauveria* y *Metarrhizium*, para el control de salivazos y barrenadores de la caña de azúcar. El hongo *Aspergillus flavus* (Onions) Link et Fries (Monilaceae) ejerce, en Santa Cruz, un alto grado de control sobre la cochinilla rosada de la caña de azúcar, *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell) (Sternorrhyncha, Pseudococcidae) durante la época de lluvia. El hongo *Nomuraea*, también controla poblaciones de *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera, Noctuidae) en soja, tan eficazmente en los años lluviosos como en 1992, cuando fue difícil encontrar larvas de *A. gemmatalis* libres de infección. Larvas infestadas colectadas de una campaña se pueden conservar congeladas en frascos de cien larvas o más, para su uso en otra campaña, asperjando el cultivo con los restos de cincuenta gusanos mezclados en 300 litros de agua por hectárea.

Bacterias

Son utilizadas asperjando soluciones de esporas sobre el cultivo; pueden ser altamente eficientes si los productos fueron almacenados en condiciones apropiadas (temperatura y humedad relativa no muy elevada). La bacteria más conocida es *Bacillus thuringiensis* (Dipel, Thuricide, Bactosphere, etc.), la cual está ocupada extensamente contra larvas lepidópteras). Si se ocupan bacterias, igual que virus, para defoliadores normalmente no hay problemas si se usa suficiente agua, pero si se ocupan contra belloteros del algodón como la lagarta rosada o *Heliothis* y *Helicoverpa* en algodón, deben utilizar también un estimulante y atrayente para comer, como Gustol. El pH del agua debe estar por debajo de 7 para la aplicación de *Bacillus thuringiensis*, eso es de vital importancia por su uso eficaz, evitando que el cristal tóxico de alpha endotoxina se disuelva en el agua y, así, no en el estómago del insecto, donde debe paralizar las paredes del estómago y permita la invasión de las esporas de la bacteria al cuerpo, causando su muerte a través de septicemia.

Virus

Hay dos clases importantes: a) Poliedroses y b) Granulosos

Insectos

Insectos entomófagos normalmente son los más importantes agentes de control biológico; tienen mucha importancia porque efectúan un control natural, sin necesidad de interferencias del hombre, ni cría artificial en el laboratorio.

Los insectos entomófagos son divididos en dos grupos: 1. Depredadores: Son los que necesitan más de un individuo de presa, o huésped, para completar su desarrollo y reproducción. 2. Parasitoides: son aquellos que necesitan apenas de un individuo - huésped para completar su desarrollo y reproducción. Un parasitoide normalmente mata su huésped, es del mismo taxón y tiene un tamaño parecido a su huésped; mientras un parásito muchas veces no mata a su huésped, es de un taxón diferente y de un tamaño muy pequeño en comparación a su huésped. Hay 17 órdenes de insectos con especies parasitoides y depredadores, es decir, son muy diversos y hay bastante depredadores no específicos.

Depredadores

- *Diptera*: las larvas de las moscas de la familia Syrphidae son depredadores voraces de pulgones, son larvas verdes, amarillas o medio transparentes que se encuentran donde hay infestaciones de pulgones. Adultos y larvas de Asilidae y Dolicholipidae también son importantes depredadores de otros insectos.
- *Hymenoptera*: petos o vespídos (Vespidae), *Polistes* spp., entre otros, son depredadores comunes generales de larvas lepidópteras, de pulgones u otros insectos. También muchas hormigas (Formicidae) son depredadores voraces, aunque, también viven en simbiosis (protocooperación) con pulgones, escamas, cochinillas, mosquitas blancas y otras plagas chupadoras.
- *Coleoptera*: muchas especies de la familia Coccinellidae son depredadores muy importantes de huevos y larvas pequeñas, además de casi todos los estadios de muchos sternorrhynchos como pulgones, cochinillas y escamas. Uno de los más conocidos es la mariquita sanguínea, una pequeña color sangre, *Cycloneda sanguinea* Linnaeus, que se encuentra en casi cualquier cultivo donde hay pulgones. También hay cientos de especies de depredadores de las familias Carabidae y Staphylinidae, las cuales son depredadores muy importantes en siembra directa. En 1998 se calculó que habían más de 10 millones de micro carábidos abajo de los rastros en un cultivo de soja en siembra directa en Obligado, Paraguay.
- *Hemiptera*: varias especies de diversas familias son importantes depredadores de plagas; Anthocoridae, Pentatomidae y todas las especies de Reduviidae son depredadores de alta importancia en muchos cultivos.
- *Neuroptera*: todas las especies de las familias de este orden son depredadores en uno o más estadios de sus vidas; varias especies de «leones de pulgones», *Chrysoperla* spp. (Neuroptera, Chrysopidae y Hemoribiidae) son muy comunes en la mayoría de los cultivos anuales y perennes donde se encuentran pulgones, escamas, cochinillas y otros artrópodos blandos.
- *Mantodea* y *Dermaptera* son órdenes de insectos que son depredadores; uno de los más conocidos y altamente comunes son las «tijeretas» *Doru lineare*.

Parasitoides

- *Diptera*: muchas especies que parasitoidan plagas de importancia económica pertenecen a la familia Tachinidae. Algunas se parecen a las moscas domésticas, pero su tamaño varía considerablemente y tiene mucha importancia en la agricultura. Las moscas taquínidas *Trichopoda* spp. parasitan chinches pentatómidas, mientras complejos de otras especies controlan *Spodoptera* spp., Heliothinae, *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera, Noctuidae) y otras plagas.

- *Hymenoptera*: hay millares de especies de avispas y microavisas que son parasitoides. Casi todos los insectos tienen por lo menos una especie que la parasitan, incluyendo la plaga doméstica, «chulupi» o cucaracha, *Periplaneta americana* L. (Blattodea, Blattidae).

Las diminutas avispas, *Trichogramma* spp., parasitoides de huevos de insectos, mayormente lepidópteros, son multiplicados comercialmente y vendidos en muchos países del mundo para el control biológico de plagas en maíz, algodón, tomate, sorgo, arroz, hortalizas, frutales y caña de azúcar.

Las avispias braconíidas, *Apanteles* spp., parasitan un gran número de larvas lepidópteras empupándose en una masa de capullos en el exterior del cuerpo de su huésped. En pulgones en todos los cultivos el parasitismo por *Aphidius* spp. (Hymenoptera: Braconidae) es alto y esto debe ser considerado antes de cualquier implementación de control químico.

Clases de enemigos naturales invertebrados de plagas identificados en algodón y soja

Depredadores

Como chinches nápidas, míridas, anthocóridas, geocóridas, pentatómidas y redúviidas (*Orius* spp., *Nabis* spp., *Geocoris* spp., *Podisus* spp., *Tynacantha marginata* Dallas, *Alcaeorrhynchus grandis* (Dallas), *Sirenta carinata* (Fabricius) y *Zelus* spp.), carábidos (*Calosoma*, *Calida*, *Galerita* y *Lebia* spp., y *Pheropsophus aequinoctalis*, cicindélidos, coccinélidos o mariquitas (*Coleomegilla maculata* (De Geer), *Cycloneda sanguinea*, *Eriopis connexa* (Germar), *Hyperaspis*, *Scymnus* y *Diomus* spp.) avispas o véspidos, crisopas (*Chrysoperla* spp. y *Chrysopa* spp.), hemerobiidos, moscas sírfidas y asilidas, tijeretas (*D. lineare*) y arañas, como saltícidas y lycósidas.

Parasitoides

Como avispas ichneumoníidas, chalcidóideas y braconíidas (*Apanteles* spp., *Euplectrus* spp., etc.) atacando diversas plagas, avispias mirmáridas (*Anagrus* sp.) atacando huevos de *Empoasca* spp., moscas tachínidas atacando larvas y pupas lepidópteras y ninfas y adultos de chinches, avispas esfécidos y moscas tachinidas atacando *Scapteriscus* spp., y, además, microavisas atacando huevos de chinches, *Trissolcus* spp., *Telenomus* spp. y *Prophanurus* spp. (Scelionidae) y huevos lepidópteros y coleópteros (*Trichogramma* e Encyrtidae.).

Entomopatógenos

También pueden casi eliminar plagas cuando las condiciones ambientales son adecuados para sus epidemias. ejemplos comunes e importantes son los hongos *Beauveria bassiana* (chinches y picudos), *Metarrhizium anisopliae* (chinches, Auchenorrhyncha y escarabajos), *Nomuraea rileyi* (*Anticarsia*, *Spodoptera* y *Alabama*) y *Paecilomyces* spp.

Clases de enemigos naturales invertebrados de plagas identificados en trigo

Depredadores

Los coccinélidos: *Coccinellina ancoralis* Germar, *C. pulchella*; *Coleomegilla quadrifasciata*, *Cycloneda sanguinea*; *Eriopis connexa*; *Hippodamia convergens* Guerin, *Hyperaspis* sp., *H. notata* Mulsant, *H. festiva* Mulsant, *H. trilineata* Mulsant, *Olla v-nigrum* (Mulsant), *Scymnus* sp., *Diomus* sp. y otras encontradas esporádicamente. Otros depredadores importantes son las tijeretas, *Doru lineare*; moscas sírfidos (Syrphidae): *Allograpta* spp., *A. exotica* (Wiedemann), *Pseudodorus clavatus* (Fabricius) y *Toxomerus* spp.; crisopas (Neuroptera, Chrysopidae): *Chrysoperla externa* (Hagen) y chinches (Hemiptera, Heteroptera) como *Orius* sp. (Anthocoridae), *Geocoris* sp. (Lygaeidae) y *Nabis capsiformis*. (Germar) (Nabidae) (Gassen, 1986, Pruett, 1992).

Parasitoides

Los más importantes son los parasitoides de pulgones, como las avispidas: *Aphidius ervi* Haliday, *A. smithi*, *A. rhopalosiphii*, *A. colemani* (Viereck), *A. uzbekistanicus*; *Praon volucre* (Harris), *P. gallicum*; *Diaretiella rapae* (McIntosh), *Ephedrus plagiator*, *Lysiphlebus* sp. (Hymenoptera, Braconidae); *Aphelinus abdominalis* (Dalman), *A. asychis* Walker, *A. flavipes* y *A. varipes* (Foerster) (Hymenoptera, Aphelinidae) y las diversas especies himenópteras y tachinidas que parasitan larvas lepidópteras (Gassen, 1986, Pruett, 1992).

Entomopatógenos

Los hongos como *Conidiobolus obscuros*, *Entomophthora planchoniana* (Cornu), *Erynia neoaphidis*, *Zoophthora radicans*, *Beauveria bassiana* y *Nomuraea rileyi* son importantes solamente cuando hay temperatura y humedad relativa adecuada para su proliferación (Gassen, 1986, Pruett, 1995).

Principales ventajas y desventajas del control biológico

Ventajas

- No deja residuos principales.
- Es más específico y generalmente no provoca desequilibrio, ni causa problemas.
- Es más permanente.
- En general es más barato que el control químico.
- No daña el ecosistema.

Desventajas

- Acción más lenta que los insecticidas.
- Más eficiente para cultivos perennes o semiperennes, donde la población de la plaga se mantiene todo el año.

Métodos químicos

Los métodos químicos involucran el uso de plaguicidas cuando es necesario, según los umbrales económicos de las plagas y los períodos de carencia del plaguicida. Sin embargo siempre se debe intentar utilizar plaguicidas biológicos, fisiológicos y selectivos, no tóxicos, o poco tóxicos, donde sea posible. Además, es necesario escoger plaguicidas que no contaminen el medio ambiente, ni afecten la salud humana o la fauna benéfica.

Muchas veces para el control de plagas los agricultores utilizan insecticidas organosintéticos de alta residualidad y toxicidad como los organofosforados, clorpirifos (Lorsban, Pirinex), metamidofos (Tamaron, Amidopaz, Stermin), fosfamidon (Dimecron) y monocrotofos (Monocron, Mofos, Nuvacron) y el organoclorado, endosulfan (Thionex, Thiodan). Muchos de estos productos son prohibidos en sus países de fabricación.

Implementación de Manejo Integrado de Plagas

Decisiones pre-siembras

- Esquema de rotación.
- Época de siembra.
- Tipo de laboreo.
- Fertilización y riego adecuada.
- Variedad.
- Cultivos trampas.

- Densidad de siembra.
- Manejo de malezas.
- Uso de feromonas.
- Disponibilidad de parasitoides
- Uso de cebos tóxicos.
- Tratamiento de semilla.
- Disponibilidad de entomopatógenos.

Disponibilidad de agroquímicos

- Curasemillas contra plagas tempranas, uso obligatorio en cultivos como algodón y trigo, y altamente recomendable en sorgo, y en los bordes de soja contra picuditos, picudos y cascudos, también en maíz.
- Insecticidas microbiológicos como Dipel/Thuricide (*Bacillus thuringiensis*) e insecticidas fisiológicos como Alsystin, Atabron y Match contra defoliadores lepidópteros.
- Productos que respetan a un cierto grado los enemigos naturales de las plagas, por ejemplo: triclofon, carbaryl, pirimicarb (contra pulgones) y endosulfan.
- Piretroides de contacto, amplio espectro y de baja toxicidad mamífera.
- Organofosforados y carbamatos sistémicos, altamente tóxicos, de amplio espectro, y de larga residualidad.
- Organosintéticos de variable toxicidad y persistencia, normalmente de acción de contacto, ingestión y fumigante.

Decisiones post-siembras

Decisiones de control de plagas post-siembras se toman según la incidencia de las plagas, sus umbrales económicos y la etapa vegetativa del cultivo, a través de monitoreos y muestreos adecuados de plagas en el campo. Cualquier medida de control biológico

inoculativo debe ser tomada cuando aparecen las plagas.

Cualquier medida de control químico debe ser implementada según los umbrales económicos de las plagas y el período de carencia del producto utilizado.

Es importante tomar en cuenta que la mayoría de las plagas, especialmente los insectos, tiene sus controles naturales, es decir depredadores, parasitoides y entomopatógenos. (Figura 1)

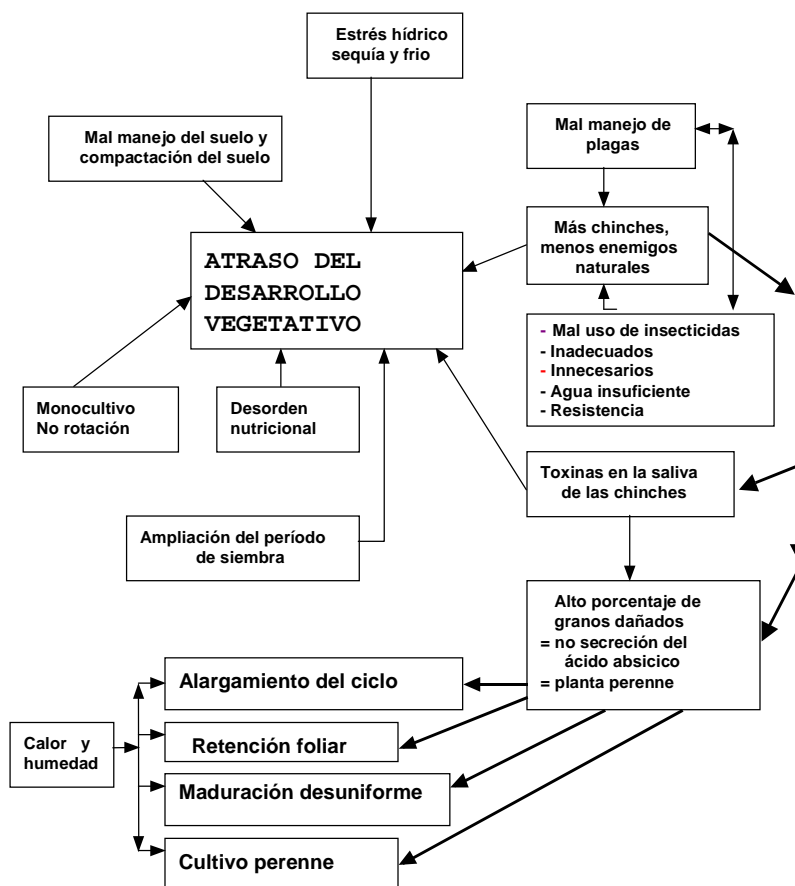


Figura 1. Factores agroecológicos y biológicos responsables para retención foliar y plantas perennes de soja en Santa Cruz, Bolivia, 1994 (elaborada por Muzilli & Pruett, 1994)

Conclusiones

- Los insectos plagas en siembra directa mayormente son los mismos que causan problemas en sistemas convencionales, pero los rastrojos hospedan a muchos organismos, incluyendo enemigos naturales de las plagas.
- Existe mayor biodiversidad y estabilidad en agroecosistemas de siembra directa.
- Insectos del suelo (Scarabaeidae, Elateridae y Curculionidae) mantienen poblaciones más altas en siembra directa.
- La mayoría de las plagas causan menores daños en siembra directa, por ejemplo pulgones en trigo, pentatómidas en soja, *Spodoptera* en maíz y defoliadores en general.
- Es muy importante implementar un sistema de manejo integrado de plagas y usar solamente insecticidas selectivas y específicas para las plagas que se quieren controlar, con la finalidad de no reducir las poblaciones de los enemigos naturales.
- Si se siembra directamente en restos del cultivo aunque verde o en campos enmalezados, la incidencia de plagas como gusanos cortadores, *Agrotis*, *Spodoptera*, etc., langostas y grillos pueden causar daños económicos severos.
- Han aparecido plagas nuevas en girasol, sorgo y soja en sistemas de siembra directa y en siembra convencional, como la mosquita de capítulo, *Melanagromyza minimoides*, y las polillas de los capítulos de girasol y de las espigas de sorgo, *Pococera atramentalis* y *Homoeosoma* sp.
- En la zona húmeda de Okinawa (Santa Cruz) los moluscos, o caracoles, han causado daños severos en soja en sistemas de siembra directa, siendo el uso de moluscidas el único control disponible.

Recomendaciones

- Para el éxito de la práctica de siembra directa y manejo integrado de plagas es fundamental la rotación de cultivos.
- Dejar cortinas rompevientos alrededor de los campos para refugios y fuentes de alimentación de enemigos naturales; y como barreras físicas a la migración de plagas como *Sternechus* spp.
- Asegurar que los rastrojos (restos del cultivo anterior y malezas) son previamente secados quince días antes de la siembra.
- Al sembrar en rastrojos vivos es necesario aplicar insecticidas de contacto (un piretroide) en agua adecuada al momento o inmediato después de la siembra mezclado con herbicida.
- Asegurar que la sembradora es adecuada para siembra directa, con cuchillos fillos, presión y peso correcto y resortes en buenas condiciones para asegurar que las semillas están colocadas en el suelo y no superficialmente en el suelo o en los rastrojos, arriesgando su destrucción por «mil pies» .
- Sembrar cultivos trampa alrededor de los campos de soja, de unos 10 metros de ancho dos semanas o más antes del resto del campo. Monitorear y controlar bien las plagas en esta franja con medidas biológicas inculativas, medidas etológicas y culturales y plaguicidas selectivos en lo posible. Estas franjas sirven como «noticieros matinales» para la presencia o llegada de plagas.
- Aumentar la densidad de siembra en las franjas alrededor del campo y utilizar tratamiento de semillas para controlar el cascudo, *Myochrous*, *Hypsonotus*, *Sternechus* y plagas invasores.

- Utilizar tratamiento de semillas siempre en trigo para controlar pulgones de las plántulas y raíces y disminuir ataques del barrenador menor, *Elasmopalpus*.
- Utilizar tratamiento de semillas siempre en algodón para controlar plagas tempranas como los picuditos, *Conotrachelus*, pulgones y thrips.
- En Argentina, Bolivia, Brasil y Paraguay comenzar programas de control biológico clásico de *Spodoptera* con *Telenomus remus* (cría masiva, liberaciones y establecimiento).
- Sembrar franjas de *Cajanus* o *Crotalaria* en el cultivo para refugios y fuente de alimento (polen, néctar y hospederos) para enemigos naturales.
- Al momento de realizar el control de insectos, se debe tomar en cuenta que siembra directa soporta mayores poblaciones de artrópodos y mayor cantidad de especies, y es necesario considerar un mayor número de variables antes de tomar una decisión.

Literatura consultada

- ALVARENGA, CD; VENDRAMIM, JD & CRUZ, I. 1995. Controle integrado de *Schizaphis graminum* (Rond.) em sorgo através de genotipo resistentes e do predador *Doru luteipes* (Scud.). An. Soc. Entom. Brasil. 23 (3): 507-516p.
- ARAGÓN, J. 1993. Siembra directa y su relación con las poblaciones de organismos dañinos en el sudeste de Córdoba. Segundo Congreso Nacional de Siembra Directa "Agricultura de fin de siglo", Huerta Grande, Córdoba, Argentina. Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. 174-186p.
- BRAGA DA SILVA, MT. 1992. Manejo de insetos no plantío direto em Cruz Alta, 1er. Congreso Interamericano de Siembra Directa, 2as. Jornadas Binacionales de cero labranza. Villa Giordino (Córdoba). 80 - 98p.
- BUCKMAN, H. & BRADY, N. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos, traducido por Salord Barceló, Uteha, Mexico, 1966, 110 - 132 p.
- CAUQUIL, J. & MICHEL, B. 1989. Enfermedades y plagas del algodón en América Central y América del Sur, El CIRAD. 92p.
- COSTILLA, MA. 1990. El curculionido *Sternechus pinguis*, importante plaga de la soja. Avance Agroindustrial Argentina. 2p.
- CROVETTO, LC. 1992. Rastrojos sobre el suelo: una introducción a la cero labranza, Chile. 1er. Congreso Interamericano de Siembra Directa, 2as. Jornadas Binacionales de cero labranza. Villa Giordino (Córdoba). 244 - 246p.
- FUNDACIÓN NACIONAL DEL ALGODONEROS (ED.), 1990. Bases técnicas para el cultivo del algodón en Colombia. 711p.
- GALLO, D; NAKANO, O; NETO, SS; CARBALHO, R; BATISTA, CC; FILHO, E; PARRA, JR; ZUCCHI, RA; ALVES, SB Y VENDRAMIN, JD. 1988. Manual de entomología agrícola, Editora Agronómica «Ceres» Ltda. São Paulo. 649p.
- GASSEN, DN. 1987. Parásitos patógenos e predadores asociados a cultura do trigo. Passo Fundo, Embrapa-Cnpt. 86p.
- 1989. Insectos subterrâneos prejudiciais às culturas no Sul do Brasil. Passo Fundo, Embrapa-Cnpt. 72p.
- 1993. Insectos de solo asociados ao sistema plantío direto. Segundo Congreso Nacional de Siembra Directa, "Agricultura de fin de siglo", Huerta Grande, Córdoba, Argentina, 8-10 de setiembre, 1993. Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. 46-69p.

- 1993. O manejo de pragas no sistema plantio direto, (129-141), en Plantio directo no Brasil - Embrapa-Cnpt- Fundacep, Fecotrigo, Fundação ABC, Ed. Aldeia Norte. 129- 139 p.
- 1996. Manejo de pragas associadas á cultura do milho. Passo Fundo, Editora Aldeia Norte, Brasil. 48-76 p.
- GONZÁLEZ BACHINI, JE. 1982. Manual de evaluación y control de insectos y ácaros del algodónero, Boletín Técnico #1 de Fundeal. 71p,
- GUAMÁN, IA 1997. Tesis de Grado. Incidencia de insectos plagas y benéficos en soja en dos sistemas de labranza, propiedad Agronaciente, Nuflo de Chavez, Santa Cruz, Bolivia, 1994/95. 150p.
- HERZOG, GA Y HARDEE, DD. 1992. Cotton Insect Research & Control Conference, 953p. USDA/Beltwide Cotton Conferences.
- KUNO, GJ MALETT Y HERNÁNDEZ, M . 1982. Patología de insectos. Universidad del Valle, Colombia. P. 212.
- KING ABS Y SAUNDERS, JL. 1984. Las plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticias de América Central. Catie/Oda. 182p.
- LÜBECK, G M; OLIVEIRA, J V Y ALMEIDA, R P. 1995. Análise faunística de lepidopteros coletados em duas comunidades agrícolas na zona da Mata norte de Pernambuco. Brasil. An. Soc. Entomol. Brasil 24 (2). 353-370 p.
- MARCHIORI, AI. 1993. Manejo del cultivo de maíz en siembra directa. Segunda Congreso Nacional de Siembra Directa. "Agricultura de fin de siglo" - Huerta Grande, Córdoba, Argentina, Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (Aapresin).
- MICHEL, B 1994. Entomofauna de los algodones paraguayos: Hemiptera Heteroptera, El CIRAD/Min. de Agricultura y Ganadería, Paraguay. 132p.
- MILATICH, N. 1993. El cultivo de la soja en siembra directa. Segundo Congreso Nacional de Siembra Directa. "Agricultura de fin de siglo", Huerta Grande, Córdoba, Argentina. Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (Aapresin), 187-195p.
- PRUETT ,CJH. 1992. Peligro en el uso de plaguicidas y la docena maldita. Seminario Taller Nacional «Plaguicidas», Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 32p.
- 1993. Historia y avances del control biológico en Bolivia. Primer Taller Internacional «Aporte de Control Biológico a la Agricultura Sostenible», Lima, Perú, mayo, 1993.
- 1993. Manejo Integrado de Plagas y Control Biológico. Seminario Taller Nacional «Plaguicidas», Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 41p.
- 1994. Historia, Avances y Perspectivas de Control Biológico en Bolivia. 52 p. 3er. Congreso de Control Biológico, Gramada, Brasil. 36p.
- 1995. Manejo integrado y control biológico de plagas en caña de azúcar en Santa Cruz, Bolivia. Primer Seminario de Capacitación a Productores y Técnicos en Caña de Azúcar, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 34p.
- Y CAMACHO, E . 1996. Manejo integrado control biológico de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de algodónero, Santa Cruz, Bolivia. (ADEPA). 17p.
- Y DURÁN, D. 1997. Plagas del algodónero y su manejo integrado en Santa Cruz, Bolivia. Segundas Jornadas Argentinas «Estrategias para el Control de Plagas del Algodonero», Santiago de Estero, Argentina. 29p.

- Y GUAMÁN, IA . 1998. Manejo integrado de artrópodos en siembra directa, con énfasis en los cultivos de maíz, soja y trigo en Santa Cruz Bolivia y países limítrofes. Tercer Encuentro Nacional de Productores en Siembra Directa, Obligado, Itapúa, Paraguay, 24 a 28 de Febrero. 43p.
- , GUAMÁN, IA Y CAMACHO, E. 1995. Insectos y siembra directa en Santa Cruz, Bolivia. 19p. Primeras Jornadas Bolivianas de Siembra Directa, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 26p.
- RALIDA, ARB. 1995. O cascudo, uma nova praga da soja no Mato Grosso do Sul, Correo Agrícola, Bayer, Brasil. 2p.
- QUINTANA, FJ. 1974. Una chinche nueva para la Argentina, *Polymerus ocellatus* (Signoret, 1863) (Hemiptera, Miridae), dañina al girasol. Segunda Reunion Nacional de girasol. IADO, Buenos Aires. 9 a 11 de octubre. 1p.
- Y ABOT, AR. 1987. Girasol, lista comentada de los organismos animales que atacan al cultivo en la republica de Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 38-39p.
- SANDOZ, INC. Y ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1981. Cotton Biological Control Conference, Dallas, Texas, 15/16 January, 1981. 109p.
- SARMIENTO, J. 1992. Plagas del cultivo de algodónero, Universidad Nacional Agraria «La Molina». 238p.
- SILVEIRA NETO, S; NAKANO, O; BARBIN, D. Y VILLA NOVA, NA. 1976. Manual de ecología dos insectos. Ed. Agronómica Ceres, São Paulo, Brasil, 339-343 p.
- SOUTHWOOD, TRE. 1978. Ecological methods, with particular reference to the study of insect populations, 2 ed, Chapman & Hall, London. 420-440 p.
- SPENCER, KA. 1987. Agromyzidae In: McAlpine JF, Peterson, BV; Shewell, GE; Teskey, HJ; Vockeroth, JR y Wood, DM. 1987. Manual of Nearctic Diptera. Volume 1. Biosystematics Research Institute, Ottawa, Canada. Monograph. 27. 869-880p.
- ZUCCHI, RA, SILVEIRA NETO, S Y NAKANA, O. 1993. Guia de identificación de plagas agrícolas. Piracicaba: FEALQ, e ESALQ. 139p.

Anexos

Anexo 1

MOSQUITA DEL CAPITULO DEL GIRASOL, *Melanagromyza minimoides*, NUEVA PLAGA DE GIRASOL, *Helianthus annuus*, EN SANTA CRUZ, BOLIVIA

La mosquita del capítulo del girasol, *Melanagromyza minimoides* Spencer (Diptera, Agromyzidae) es una plaga observada, desde 1997, en Santa Cruz atacando las flores y semillas inmaduras del girasol, *Helianthus annuus* Linnaeus (Asterales, Compositae), causando pérdidas hasta del 30 por ciento, según datos preliminares de Agripac y datos internacionales de Zeneca Semillas (Santa Fe, Argentina).

El adulto de la mosquita presenta coloración general negra con reflejos metálicos. La hembra tiene ovipositor muy alargado con envergadura alar de 1,6 a 2,3 mm. Es recomendable que el productor observe la presencia de la mosquita en su campo, la cual se ubica normalmente en las hojas superiores de la planta, en las brácteas del capítulo por abrir o en el propio capítulo recién abierto sobre el cual la hembra de la mosquita del capítulo del girasol coloca sus huevos, ubicándolos entre las primordios de las flores tubulares. De estos huevos nacen las larvas que son las que perforan los granos en formación consumiendo la parte interna del mismo, provocando el vaneado de esos granos con la consecuente baja en el rendimiento y la siguiente emergencia de más mosquitas adultas para seguir dañando los sembradíos tardíos.

Como la mosquita del capítulo del girasol era una plaga nueva en girasol en Santa Cruz, eran escasas las recomendaciones con base en trabajos nuestros, por lo cual en una labor coordinada entre ANAPO, el IIA «El Vallecito» y la Empresa Agripac se llevan adelante, en 1998, cuatro ensayos ubicados en el Centro demostrativo de Agripac (CDA)/ San Diego y Cuatro Cañadas de Agripac y en las propiedades de Europa y Cantares. En los ensayos se están evaluando un total de seis diferentes insecticidas en diferentes momentos de aplicación (prefloración y postfloración), el control de la plaga y sus efectos nocivos, o no, sobre abejas polinizadoras y enemigos naturales de plagas del girasol. Además se están colocando láminas plásticas amarillas en el cultivo para evaluar la presencia de adultos de la mosquita del capítulo (aprobado en Perú y en Chuquisaca, Bolivia en los cultivos de papa y tomate).

Según datos y recomendaciones de Zeneca Semillas de Argentina (Ing. Abelarde de la Vega), donde la plaga es conocida como la mosquita agromízida del capítulo, la misma presenta peligro al cultivo cuando apenas se abren las brácteas del botón, dejando el disco descubierto y las hembras adultas comienzan a oviponer entre los primordios de las flores tubulares y una vez producida dicha oviposición; los argentinos no han tenido éxito en frenar la actividad de la larva de la mosquita del capítulo con tratamientos posteriores. Zeneca nos indica que sólo son eficientes los tratamientos preventivos, pues cuando se observan los adultos oviponiendo, parte del daño ya está hecho. Los daños se observan en el capítulo por el secado prematuro de las anteras y las flores tubulares que luego de ser retiradas, permiten visualizar el grano vaneado por debajo. Este mismo secado/vaneado puede ser por otras causas que no permitieron la polinización en ese momento y por tanto el grano queda vano.

Debido a la confusión que puede ser común entre agricultores y técnicos para reconocer esta nueva plaga, hay que tener cuidado y no hay que confundir la mosquita del capítulo con la «chinche pirata», *Orius* sp., (Hemiptera, Heteroptera, Anthocoridae) o con la chinche «de ojos grandes», *Geocoris* sp. (Lygaeidae), las cuales no son una plagas pero depredadores de insectos, especialmente la mosquita del capítulo de girasol. Las abejas polinizadoras son de vital importancia al cultivo de girasol, por lo cual la aplicación

de insecticidas en el momento de floración puede afectar el rendimiento (por matar abejas) y es un tema a ser muy tomado en cuenta por el productor y el técnico responsable.

Dado el escaso margen de utilidad que deja el girasol, por los bajos rendimientos, los peligros de defoliación total en sembradíos tardíos por los gusanos militares (*Spodoptera sunia* y *S. eridania* [Lepidoptera, Noctuidae]) y el aumento en el costo de producción, es importante analizar la pérdida que la plaga puede causar y si la misma justifica su control.

Anexo 2

Análisis faunístico en labranza convencional y siembra directa en soja

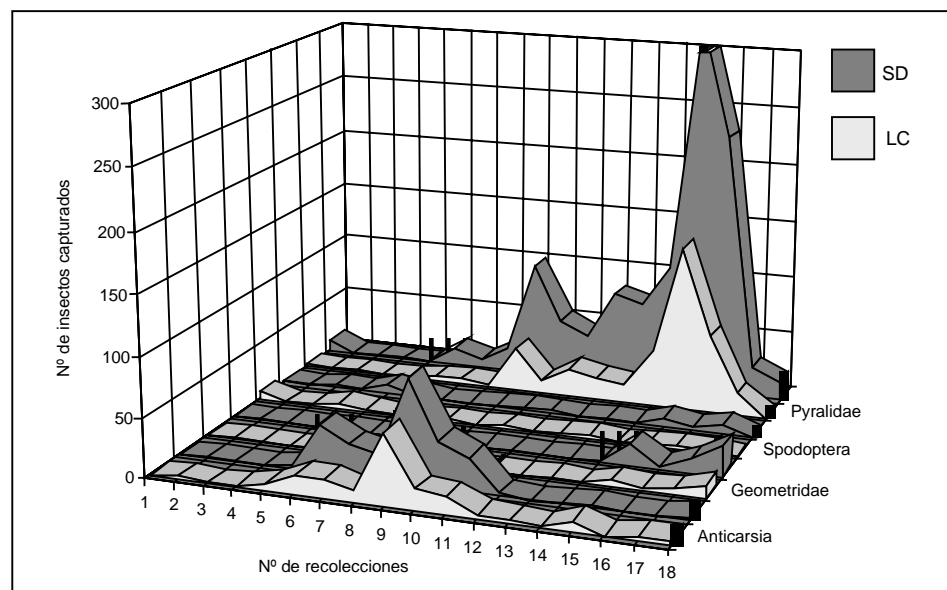
Según el análisis faunístico de Silveira Neto *et al.* 1976, bajo el sistema de siembra directa aparecen en el cultivo muchos más insectos que en el sistema convencional. El rastreo de la superficie del suelo crea condiciones favorables para las poblaciones de Diplopoda, Scarabaeinae, Formicidae, Gryllidae y Araneae; estos grupos fueron frecuentes, constantes y muy abundantes a lo largo de todo el ciclo del cultivo y representan la mayor diferencia entre siembra directa y labranza convencional.

En la remoción del suelo, Diplopoda, Carabidae, Tenebrionidae y Formicidae, fueron frecuentes, constantes y muy abundantes. Los grupos Oligochaeta, Chilopoda, Curculionidae (larvas), Tenebrionidae, pupas de Diptera y "huevos de insectos" presentaron mayores poblaciones numéricamente en Siembra Directa (SD) que en Labranza Convencional (LC), y el hecho de que el suelo no sea perturbado favorece al incremento de sus poblaciones.

Análisis estadístico

Según el análisis estadístico las plagas y benéficos de la parte aérea, no presentan diferencias significativas en ambos tratamientos. Las plagas lepidópteras, de la parte aérea, fueron las mismas en ambos tratamientos y no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellos (Figura 1), sin embargo la cantidad de larvas que llega a empapar en el suelo es mayor en LC para las especies *Anticarsia* y *Spodoptera* (Figura 2).

Figura 1.
Fluctuación poblacional de adultos lepidópteros, capturados en trampas Malaise, en soja, en dos sistemas de labranza, Ñuflo de Chávez, Santa Cruz, Bolivia, 1994/95.



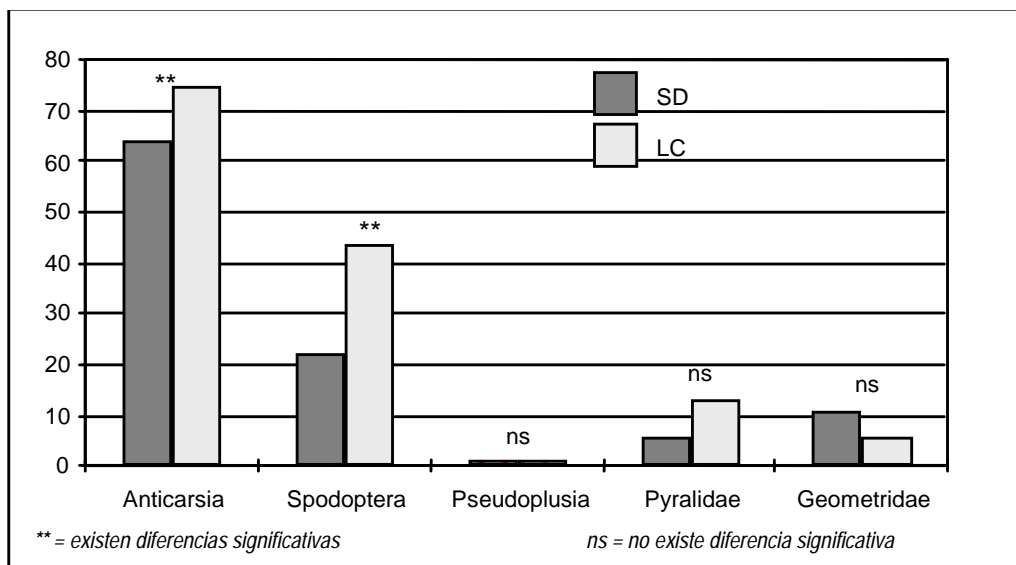


Figura 2. Plagas lepidópteras capturadas en trampas de caída, en soja, en dos sistemas de labranza, Ñuflo de Chávez, Santa Cruz, Bolivia, 1994/95.

En esta campaña se presentaron como plagas potenciales, “los picudos”, *Sternechus pinguis*, *Hyponotus* sp. y *Promecops* sp. (Coleoptera, Curculionidae) y el barrenador *Maruca testulalis* (Pyralidae, Pyraustinae).

En las trampas de caída se atraparon coleópteros que habitan la superficie del suelo y la parte inferior de la planta, tanto adultos como estados inmaduros. No existe diferencia significativa entre tratamientos para las familias Lagriidae, Curculionidae, Meloidae y Tenebrionidae (Figura 3).

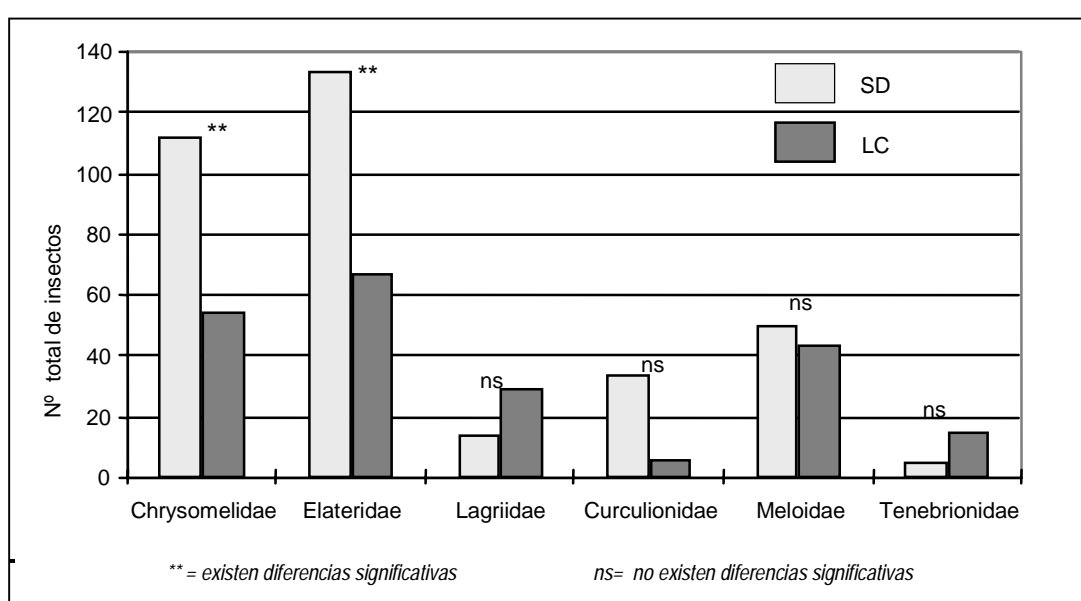


Figura 3. Plagas coleópteras capturadas en trampas de caída, en soja, en dos sistemas de labranza, Ñuflo de Chávez, Santa Cruz, Bolivia, 1994/95.

Las familias Elateridae y Chrysomelidae presentan diferencias estadísticamente significativas, siendo mayor su población en SD; esto es debido a que las larvas habitan en el suelo y como en SD el suelo no es perturbado, éstas sobreviven más. En el caso de los crisomélidos *Cerotoma* fue el género predominante y se presentó en mayor cantidad que *Diabrotica* y otros crisomélidos. Esto es debido a que el género *Cerotoma* prefiere como alimento las leguminosas y *Diabrotica* prefiere alimentarse del maíz (King & Saunders, 1984).

En los muestreos de suelo se capturaron estados inmaduros de varias especies, especialmente larvas de Scarabaeidae, Curculionidae, Carabidae, y pupas de Lepidoptera, Diptera e Hymenoptera, además de huevos de insectos. Las larvas curculioniformes encontradas no fueron identificadas, y solamente al final del ciclo de cultivo se encontró una larva del picudo negro *S. pinguis*, a 15 cm de profundidad.

En la remoción del suelo se encontraron larvas de coleópteros de la subfamilia Melolonthinae, estas larvas atacan principalmente raíces de gramíneas (trigo, maíz, malezas) y no así de plantas de soja. Según en siembra directa hay un incremento de poblaciones de este tipo de insectos que, por una parte, son plagas y, por otra, son benéficos al airear el suelo a través de sus galerías, Gassen, 1993.

Se encontró mayor cantidad de lombrices (Oligochaeta) en SD en comparación a LC, sin embargo esta cantidad todavía es poco. Tal vez se necesitan más años de siembra directa para aumentar su población o quizás, como mencionan Buckman & Brady (1966), las especies nativas de lombriz no se pueden adaptar a campos cultivados, sino que deben ser reemplazados por la lombriz *Lumbricus terrestris*, que soporta las condiciones de campos cultivados.

En la remoción del suelo se encontró "ciempiés" (Chilopoda), que son artrópodos muy delgados, que se alimentan de larvas de insectos y otros artrópodos. Los ciempiés, al igual que las arañas, al ser depredadores pueden actuar como reguladores de poblaciones de algunos insectos que habitan debajo de la superficie del suelo. Otros depredadores capturados en la remoción del suelo fueron Gelastocoridae, Reduviidae y Staphylinidae que son numéricamente mayor en SD que en LC.

En las trampas de caída las familias depredadoras encontradas fueron Cicindellidae, Staphylinidae, Mutillidae, Reduviidae y Gelastocoridae, que no presentan diferencia significativa entre tratamientos (Figura 4).

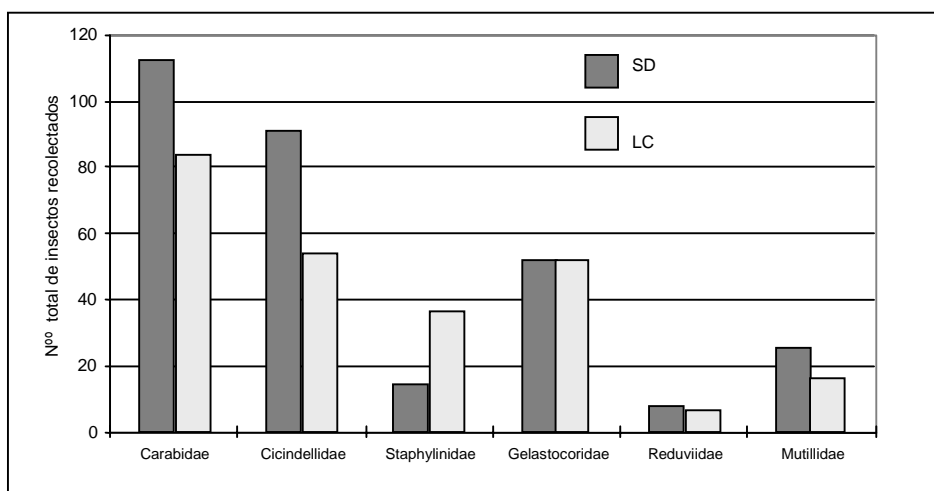


Figura 4. Depredadores capturados en trampas de caída, en soja, en dos sistemas de labranza, Ñuflo de Chávez, Santa Cruz, Bolivia, 1994/95.

Los depredadores *Alcaeorrhynchus grandis* Dallas, (Pentatomidae, Asopinae), *Arilus* sp. (Reduviidae) y *Phlugis tenuis* (Tettigoniidae) no cayeron en las trampas, sino que fueron recolectados durante el recorrido por las parcelas y en el muestreo con el paño. Solo *Brontostoma* (Reduviidae), de hábito terrestre cayeron en las trampas de caída, al igual que sus ninfas (género). *Arilus* sp. se caracteriza por ser un depredador grande, de movimientos lentos, difícilmente atrapado en las trampas, pero abundante en la región.

Según Zuñiga, 1987, normalmente los depredadores no se establecen tan rápido en un monocultivo como lo haría una plaga; esto es especialmente cierto en un cultivo anual. Por eso en cultivos extensivos es necesario mantener cada cierto trecho una faja o foco de vegetación espontánea que sirva de proveedora de alimento y de refugio de enemigos naturales, ya que el establecimiento de extensos monocultivos, libres de otra vegetación, implica que los reservorios queden lejos de su alcance, con lo cual disminuye notablemente su acción.

Arácnidos

Los arácnidos fueron encontrados en las trampas de caída, en la trampa Malaise y en la remoción del suelo.

Las arañas que habitan la parte aérea, capturadas en trampa Malaise, no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos. Por tanto en la parte aérea las arañas se comportan igual, sin que sean afectadas por el sistema de labranza.

Sin embargo en las trampas de caída sí hay diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos, presentando una mayor población de arañas el tratamiento SD (Figura 5). Lo que demuestra que estos artrópodos que habitan la superficie del

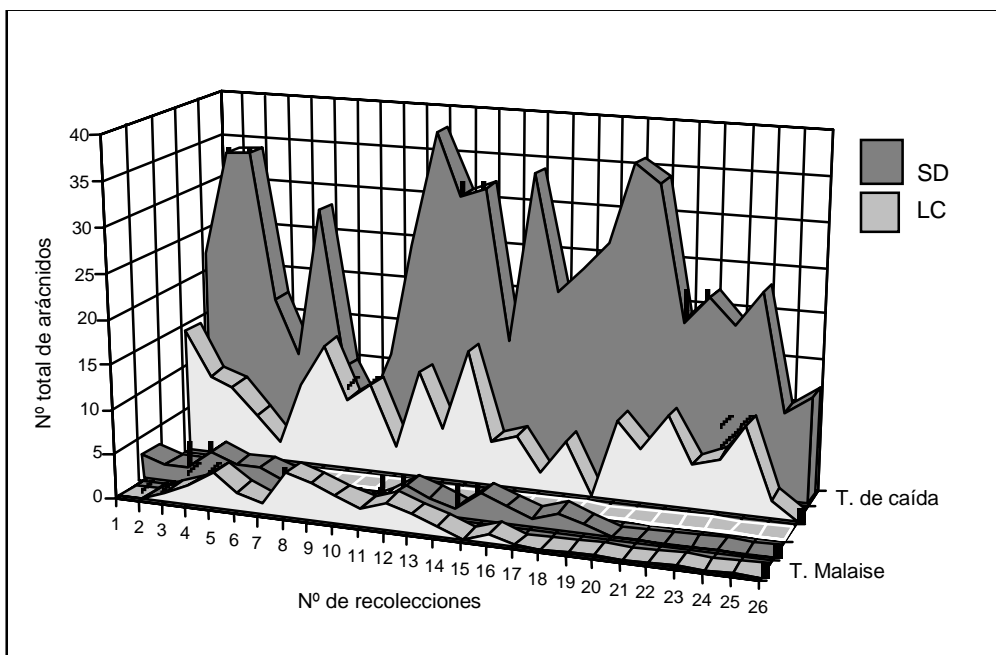


Figura 5. Fluctuación poblacional de arácnidos en soja, en trampas de caída y Malaise, en dos sistemas de labranza, Ñuflo de Chávez, Santa Cruz, Bolivia, 1994/95.

suelo son favorecidos en siembra directa, porque el suelo no es removido y los rastrojos les sirve de refugio. La familia que presentó mayor cantidad de especímenes fue Lycosidae.

Milpiés (Diplopoda)

En las trampas de caída el tratamiento con mayor población de milpiés (Polydesmida y Spirostreptida), a lo largo de todo el ciclo del cultivo, fue SD. Sin embargo se observa que esta población va disminuyendo poco a poco a lo largo del ciclo del cultivo, debido a que la presencia de rastrojo también va disminuyendo (Figura 6). Estos artrópodos fueron atrapados en las trampas de caída y en la remoción del suelo y en ambos su población fue mayor en SD que en LC, ya que prefieren suelos no perturbados, con abundante rastrojo.

Los milpiés abundan en lugares donde hay abundante rastrojo y donde no hay preparación de terreno, y describe a una especie de la familia Julidae como posible plaga en lugares con baja población de plantas, poco rastrojo y períodos de sequía. Se alimentan de plántulas y semillas, pero su biología y sus hábitos son poco conocidos, Gassen, 1996.

Scarabaeidae, Scarabaeinae

De las dos especies capturadas de este grupo, el de color naranja con verde y de 1 cm de tamaño fue el más abundante y el más importante, por su hábito de enterrar materia orgánica. Ambas especies fueron capturadas en las trampas de caída y se presentaron en mayor cantidad en SD, registrándose diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos (Figura 6). Estas especies también prefieren suelos no perturbados, teniendo la posibilidad de aumentar sus poblaciones en beneficio del suelo.

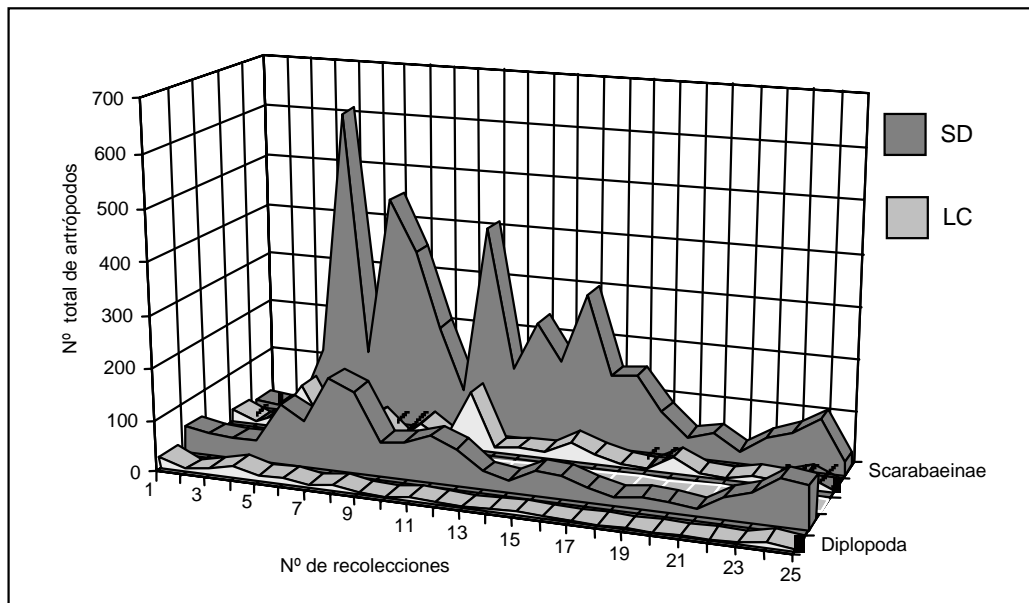


Figura 6. Fluctuación poblacional de Diplopoda y Scarabaeinae capturados en trampas de caída, a lo largo del ciclo de la soja, en dos sistemas de labranza, Santa Cruz, Bolivia, 1994/95.

Anexo 3

PLAGAS IMPORTANTES DEL ALGODÓN, *Gossypium spp.*, Y SU MANEJO INTEGRADO

Cuadro 1. Plagas del algodón, *Gossypium spp.*, (Malvales, Malvaceae)

Insectos plagas en el suelo		
Gusanos tierreros, <i>Agrotis</i> y <i>Spodoptera spp.</i> , <i>Blatinus sp.</i> (Ienebrionidae), gusanos alambres (<i>Conoderus spp.</i>), <i>Migdolus fryanus</i> , rizófago, (Cerambycidae), chinche castaña, <i>Scaptocoris castanea</i> y grillotopos, <i>Scapteriscus spp.</i> y <i>Neocurtilla spp.</i>		
Insectos defoliadores	Artrópodos chupadores	Insectos barrenadores o belloteros
Cepes y cetoquis (<i>Atta</i> y <i>Acromyrmex spp.</i>),	Thrips, <i>Frankliniella sp.</i> y <i>Thrips tabaci</i> ; mosquita blanca, <i>Bemisia tabaci</i>	<i>Eutinobothrus brasiliensis</i> (algodón y otros hospederos)
"Matacaballos", <i>Proscopia scabra</i> ?	Pulgones o pulgones, <i>Aphis gossypii</i> ; chinche de encaje, <i>Gargaphia sp.</i>	Picudito, <i>Conotrachelus denieri</i> , atacando plántulas, tallos y bolos
<i>Spodoptera</i> , <i>Spodoptera frugiperda</i>	Chicharritas, <i>Empoasca kraemeri</i> , Cochinillas, <i>Phenacoccus gossypii</i>	<i>Heliothis</i> , bellotero o "gusano michelin", <i>Heliothis virescens</i> y <i>Helicoverpa zea</i>
Alabama, <i>Alabama argillacea</i>	Ácaro rojo o ácaro rayado, <i>Tetranychus urticae</i>	Lagarta rosada, <i>Pectinophora gossypiella</i>
	Chinches tintóreas, <i>Dysdercus spp.</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i> , bellotero

Cuadro 2. Umbrales económicos de plagas del algodón

Estado de desarrollo de la planta	Plagas	Umbral económico (momento de tomar medidas de control)
Establecimiento	Gusanos tierreros, gusanos alambres, <i>Migdolus fryanus</i> , chinches castañas, matacaballos y grillotopos; <i>Blatinus sp.</i> ----->	5 % plantas atacadas o 2 adultos/m lineal
Desarrollo vegetativo y floración	Pulgones o pulgones <i>Aphis gossypii</i> , hasta 60 días Thrips, <i>Thrips tabaci</i> y <i>Frankliniella sp.</i> , hasta 30 días	50 % de plántulas atacadas o 30 por hoja 5 thrips adultos o ninfas/hoja ó 50 % de plantas atacadas
	Picudito, <i>Conotrachelus denieri</i> , muestrear en los bordes del lote Chicharrita, <i>Empoasca kraemeri</i> y otras especies	2 adultos/m lineal ó 25% de plántulas con adultos 2 chicharritas/hoja
Desarrollo vegetativo, reproductiva y maduración	Defoliadoras, 90-140 días: <i>Alabama</i> , falso medidor (plúsinos) y matacaballos	30% defoliación
	Ácaro rayado, <i>Tetranychus urticae</i> , 80-110 días Bellotero, o "gusano michelin", <i>Heliothis virescens</i> y <i>Helicoverpa zea</i> , 70-120 días Bellotero, <i>Spodoptera frugiperda</i> , 70-120 días	10 % de plantas atacadas Terminales apicales: 20 % con huevos cremas ó 12 % con larvas pequeñas 10 % de plantas con huevos ó con las primeras larvas de 1 a 2 cm en las brácteas del bolo
	Lagarta rosada, <i>Pectinophora gossypiella</i> , 80-120 días Picudito, <i>Conotrachelus denieri</i>	10 % flores arrocetadas, 10 adultos/noche/trampa o 5 % de bolos atacados Presencia de adultos en 10 % flores ó 5 % de bolos atacados
	Mosquita blanca, <i>Bemisia tabaci</i> Chinche tintórea, 90 - 140 días, <i>Dysdercus spp.</i> , <i>D. ruficollis</i> , <i>D. pallidus</i> y otras especies	Sin umbrales económicos en Bolivia 20 % de infestación, 3 adultos por 10 plantas, 1 a 2 / m lineal o 8 % bolos atacados

Fuente: Pruett & Durán, 1997

Implementación de manejo integrado de plagas del algodón

Decisiones pre-siembras

Esquema de rotación

- Especialmente contra el picudito y la lagarta rosada.

Tipo de laboreo

- Mínimo o cero - conservación de enemigos naturales.
- Convencional - destrucción parcial y exposición de larvas y pupas del picudito u otras plagas.

Época de siembra

- Para reducir ataques del picudito, lagarta rosada y chinches tintóreas (15 noviembre al 5 de diciembre).

Variedad

- Uso de variedades precoces o de ciclo corto y semilla certificada con dislinte al ácido.

Fertilización adecuada

- Para mantener plantas vigorosas, a fin de que toleren el ataque por plagas en general o evitarlo en el caso de plagas que prefieren plantas débiles.

Densidad de siembra

- Alta densidad en los bordes y tratamiento de semilla contra el picudito e otras plagas tempraneras.

Tratamiento de semilla

- De suma importancia para el control, en la fase inicial del cultivo, del picudito, de los thrips, de los pulgones y otras plagas tempraneras.

Cultivos trampas

- 10 metros de algodón sembrado alrededor de los lotes, para atraer y, luego, eliminar adultos del picudito u otras plagas de algodón a través de aplicaciones de plaguicidas periódicamente u otras medidas de control.

Cultivos asociados

- Maíz, sorgo, crotalaria o frijol de palo (*Cajanus cajan*) para distraer plagas del algodón y proveer hospederos, néctar y polen para los enemigos naturales de plagas.

Control de malezas

- Eliminar plantas malváceas hospederos de la chinche tintórea o dejar plantas para la alimentación de algunos enemigos naturales de las plagas.

Uso de cebos tóxicos

- Para el control de adultos o mariposas de *Alabama*, plúsinos *Heliothis*, *Helicoverpa*, *Pectinophora* y *Spodoptera*, se utilizan cebos tóxicos basados en melaza (1 kg), agua (10,l), metomil 21,5 % PS (25 g ia), colocando 0,5 l por 15 m lineales de surco a cada 50 m.

- Para el control de gusanos tierreros, grillos y grillotopos o perritos del Señor se utilizan cebos tóxicos basados en afrecho de trigo (2 kg), melaza (200 g), agua (600 ml) y tricolorfon 80% (100g) o metomil 21,5 % PS (150 g), aplicando esta cantidad en 1.000 metros cuadrados.
- Para el control de chinches tintóreas se podrían utilizar cebos tóxicos basados en 1 quintal de semillas trituradas de algodón mezclada con 0,5 kg de tricolorfon, aplicando 250 gramos cada 10 surcos, a cada 20 m de distancia.

Uso de feromonas

- Para el monitoreo de la lagarta rosada (*Gossyplure*), *Spodoptera frugiperda* y, según su disponibilidad, *Heliothis virescens* (Virelure) y *Helicoverpa zea*.
- Para confusión de machos y control de lagarta rosada (*Gossyplure*), *Spodoptera frugiperda* (trampas), *Heliothis virescens* (Virelure) y *Helicoverpa zea*.

Disponibilidad de enemigos naturales entomopatógenos

- Insecticidas microbiales comerciales o productos rústicos producidos nacionalmente: *Baculovirus* spp. contra *Heliothis virescens*, *Helicoverpa zea* y *Spodoptera frugiperda*; *Beauveria bassiana*, *Metarrhizium anisopliae* y *Nomuraea rileyi* contra *Spodoptera frugiperda*; *Paecilomyces farinosus* y *Beauveria bassiana* contra chinches, picudos, belloteros y defoliadores; *Bacillus thuringiensis* var. *kurstacki* (Dipel) contra larvas lepidópteras (con la excepción de *Spodoptera frugiperda*) y *Bacillus thuringiensis* var. *aizawi* contra larvas lepidópteras.

Disponibilidad de enemigos naturales parasitoides

- *Telenomus remus* contra *Spodoptera* spp., avispidas bracónidas (*Bracon kirkpatricki*) y avispidas betílicas para biocontrol inoculativo de la lagarta rosada y, para biocontrol inundativo, *Trichogramma* contra huevos lepidópteros, pero no contra *Spodoptera* spp.

Disponibilidad de agroquímicos

- Uso de «Curasemillas» (tratamiento de semillas con insecticidas) contra plagas tempranas debía ser obligatorio.
- Uso de *Bacillus thuringiensis* y insecticidas fisiológicos (Alsystin, Atabron, Dimilin, Match, Spectre, etc.) contra defoliadores lepidópteros, y con atrayente de comer como «Gustol», contra belloteros lepidópteros, aunque los fagoestimulantes pueden atraer, también, chinches tintóreas.

Decisiones post-siembras

- Decisiones post-siembras se toman según la incidencia de las plagas, sus umbrales económicos y la etapa vegetativa del cultivo a través de monitoreos y muestreos en el campo.
- Cualquier medida de control biológico inoculativo debe ser tomada cuando aparecen las plagas.
- Cualquier medida de control químico debe ser implementada según los umbrales económicos de las plagas, la etapa vegetativa de la planta y el período de carencia del producto.
- Al final de la campaña obligadamente hay que incorporar o destruir los rastrojos del cultivo antes del 15 de julio para controlar la lagarta rosada y el picudito.

Anexo 4

MANEJO INTEGRADO DE ARTRÓPODOS EN TRIGO, *Triticum aestivum*, EN SIEMBRA DIRECTA

Los pulgones son plagas muy importantes en cultivos como los cereales (Poales, Gramineae), en especial por su capacidad de proliferación que es muy grande, pues en poco tiempo pueden tomar contacto con cualquier cultivo causando con esto serios daños por succión de savia y la transmisión de enfermedades (EMBRAPA-CFACT, 1994).

Años atrás en el Brasil se hace referencia apenas a la especie *Schizaphis graminum* (Rondani) (Sternorrhyncha, Aphididae) como el principal pulgón que atacaba al cultivo de trigo, , *Triticum aestivum*, (Poales, Gramineae). En tanto que estudios más detallados permitieron ver que *Metopolophium dirhodum* (Walker) y *Sitobion avenae* (Fabricius) por los perjuicios causados en los últimos años son también considerados importantes (Gallo *et al*, 1988).

Durante los últimos años una de las plagas principales de Bolivia, *Spodoptera frugiperda* está causando daños graves al trigo, igual que *Mocis latipes* Guenée (Noctuidae). Son también responsables por daños económicos graves en maíz en invierno, donde éstos, a veces, causan pérdidas totales del cultivo y eliminan ganancias debido a múltiples aplicaciones del insecticida. También en los últimos cinco años en Santa Cruz, Bolivia, el barrenador americano de la caña de azúcar, *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera, Pyralidae, Crambinae), está causando graves problemas en trigo, asimismo en estos últimos años en maíz y sorgo, aunque con poca importancia en la caña de azúcar, la cual está atacada por un complejo de barrenadores crámbinos.

Cuadro 1. Plagas del cultivo del trigo

Plagas del suelo		
Gallina ciega o gusano blanco, <i>Phyllophaga</i> y <i>Cyclocephala</i> spp., <i>Dilobderus abderus</i> Gusanos tierreros, <i>Agrotis</i> spp. y <i>Spodoptera</i> spp, Chinche castaña, <i>Scaptocoris</i>	Grillotopos, <i>Scapteriscus</i> spp. y <i>Neocurtilla</i> spp. Barrenador menor, <i>Elasmopalpus lignosellus</i> <i>Rhopalosiphum rufiabdominalis</i>	Gusano alambre, <i>Conoderus</i> spp., <i>Conoderus scalaris</i>
Plagas de la parte aérea		
Insectos defoliadores	Insectos chupadores	Insectos barrenadores
<i>Mocis latipes</i> <i>Pseudaletia sequax</i> , <i>P. adultera</i> <i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Rhopalosiphum padi</i> <i>Schizaphis graminum</i> <i>Rhopalosiphum maidis</i> <i>Thyanta perditor</i> <i>Metopolophium dirhodum</i> <i>Sitobion avenae</i>	<i>Elasmopalpus lignosellus</i> <i>Diatraea saccharalis</i>

Control de *Spodoptera frugiperda* en trigo

Aplicar medidas de control con insecticidas biológicos y fisiológicos, los cuales deben ser aplicados en un tamaño de larva máximo de 1 cm, para raspador, cuando se tenga un 30 por ciento de plantas raspadas; en plantas adultas para defoliadores, cuando se

tenga un promedio de 40 a 50 gusanos/m² con un tamaño de larva hasta de 2 cm. Aplicar sólo en áreas infectadas, no en forma preventivas ni generalizadas, en las últimas horas de la tarde, hasta las 12 de la noche, o una de la mañana, porque hay disminución de la población de larvas en las plantas, éstas vuelven a su refugio, posiblemente porque baja la temperatura. No es bueno aplicar de día en climas cálidos a no ser que el cultivo esté en sus primeros estadios.

Forma de monitoreo

- Localizar área infectadas dentro del lote.
- Realizar el conteo en diferentes puntos del área localizada.
- Tomar 1 metro cuadrado (m²) como punto de muestreo.
- Realizar el muestreo en las primeras horas de la mañana.
- Contabilizar los gusanos que se encuentran en la planta y el suelo.

Control biológico clásico de plagas en trigo

A Chile, en 1967, invadieron los pulgones de los cereales *M. dirhodum* y *S. avene*, produciendo una notoria disminución en la cosecha de trigo de la temporada 1975-1976, que tuvo como causa al virus del enanismo amarillo de la cebada (VEAC), transmitido por los pulgones mencionados e incluido *R. padi*. De tal manera se implementó un programa clásico de control biológico, introducido ya desde 1961, los siguientes parasitoides y depredadores de pulgones: *Aphidius matricariae*, *Aphidius ervi*, *A. rhopalosiphi*, *A. uzbekistanicus*; *Aphelinus* sp., *Aphelinus varipes*, *Lysiphlebus testaceipes*; *Ephedrus plagiator*; *Monoctonus nervosus*; *Praon gallicum* y *Praon volucre* (parasitoides braconídeos) procedentes de varios países, como Checoslovaquia, Hungría, Inglaterra, Israel, Sudáfrica, los Estados Unidos e Irán. Entre los depredadores introducidos, se mencionan: *Hippodamia convergens*, *Adonia variagata*, *Lioadalia flavomaculata*, *Coccinella transversoguttata*, *Coleomegilla maculata* y *Coccinella septempunctata*. (Coccinellidae) (IICA, 1994).

Anexo 5

Plagas del girasol y su manejo integrado

Desde su arranque en Santa Cruz en 1988 (con 80 hectáreas), el cultivo de girasol tuvo poca incidencia de plagas. Los gusanos militares, *Spodoptera sunia* y *S. exigua* han sido responsables para pérdidas de hasta 100% en algunas áreas de girasol sembrado tarde y, a veces, altas incidencias de *Alternaria*, en condiciones de humedad y temperatura adecuadas, han reducida el rendimiento del cultivo. El cultivo de girasol en Santa Cruz, con una área sembrada en 2.000 de alrededor de 130.000 hectáreas, esta siendo afectado por una nueva plaga, la mosquita del capítulo, *Melanagromyza minimoides*.

Según investigaciones científicas de Agripac en Santa Cruz, esta plaga está causando pérdidas en rendimientos hasta el 30 %, dato corroborado en otros países por la empresa internacional, Zeneca, lo cual actualmente se está recomendando la aplicación de lambdacyfltrina (Karate, 150 ml por hectárea) prefloración o hasta 15 % floración, para el control de la mosquita del capítulo del girasol, repitiendo la aplicación si es necesario, la cual no tiene efectos nocivos en las abejas y es de bajo impacto sobre fauna benéfica. En 1998 se está registrando un aumento alarmante en poblaciones de polillas de los capítulos, probablemente *Homoeosoma* sp. y/o *Pococera atramentalis*. Las larvas de la polilla devoran las brácteas y semillas, el tejido preferido, y pueden vaciar una gran cantidad de semillas y llegan a ocasionar la destrucción total de la inflorescencia.

Cuadro 1. Plagas comunes del cultivo del girasol

Plagas del suelo		
Gallina ciega, gusano blanco o coró; <i>Euetheola</i> , <i>Phyllophaga</i> y <i>Cyclocephala</i> spp., <i>Dilobderus abderus</i> , <i>Strategus</i> , y <i>Dyscinetus</i> sp.	Grillotopo y grillos; <i>Gryllus assimilis</i> y <i>Anurogryllus</i> sp. <i>Scapteriscus</i> spp. y <i>Neocurtilla</i> spp.;	Gusano alambre, <i>Conoderus</i> spp., gorgojo del suelo, <i>Pantomorus</i> spp.
Gusanos tierreros, <i>Agrotis</i> spp. y <i>Spodoptera</i> spp.; Chinchas castañas y negras, <i>Scaptocoris castanea</i> y <i>Cryptomenus</i> sp.	Barrenador menor, <i>Elasmopalpus lignosellus</i> <i>Astylus variegatus</i> ; termitas o turiros <i>Procornitermes</i> sp.	Diplopoda destruyen semillas y cotiledones cuando sembrada poco profunda; normalmente son benéficos, recicladores de nutrientes
Plagas de la parte aérea		
Insectos defoliadores	Insectos chupadores	Plagas del capítulo
Lagarta del girasol, <i>Chlosyne lacinia</i> ; petita, <i>Diabrotica speciosa</i> Falso medidor, <i>Rachiplusia nu</i> , gusanos militares, <i>Spodoptera sunia</i> y <i>Spodoptera exigua</i>	Chinche verde pequeña, <i>Piezodorus guildinii</i> Chinche verde grande alas café, <i>Edessa meditabunda</i> ; chinche barriga verde, <i>Dichelops furcatus</i> Pulgones, <i>Uceclon</i> spp. también ataca la maleza chupurubumi, <i>Parthenium</i> , y papa	Mosquita del capítulo, <i>Melanagromyza minimoides</i> Escarabajo, <i>Cyclocephala melanocephala</i> ; chinche de las semillas, <i>Nysius</i> sp. Polilla de los capítulos, <i>Pococera atramentalis</i> o <i>Homoeosoma</i> sp.
Insectos barrenadores: mosquita agromízida del tallo		

Anexo 6

Manejo integrado de plagas de soja, *Glycine max* (Linnaeus) Merrill

Las plagas más importantes de la soja, *Glycine max* (Linnaeus) Merrill (Fabales, Leguminosae), tradicionalmente, son chinches, como *Acrosternum* sp., *Piezodorus guildinii* (Westwood), *Edessa meditabunda* (Fabricius), *Euschistus* spp., *Edessa* spp. y *Dichelops furcatus* (Fabricius); defoliadores noctuidos, como *Anticarsia gemmatilis*, *Trichoplusia* spp., *Spodoptera* spp., geométridos y crisomélidos, como *Diabrotica speciosa* Germar y *Cerotoma balteata* (Germar); barrenadores de brotes, axilas, tallos y vainas, *Epinotia aporema*, *Maruca testulalis* (Geyer) (Lepidoptera, Pyralidae) y un barrenador Phycitinae. Hay plagas relativamente nuevas como picudos, *Sternechus pinguis*, *Hypsonotus* sp., *Promecops* sp. y el cascudo, *Myochrous* sp.

Cuadro 1. Plagas del cultivo de la soja

Plagas del suelo		
Gallina ciega o coró, <i>Dilobderus abderus</i> <i>Phyllophaga</i> y <i>Cyclocephala</i> Gusanos tierreros, <i>Agrotis</i> spp. y <i>Spodoptera</i> spp.	Grillotopos, <i>Scapteriscus</i> spp. y <i>Neocurtilla</i> spp. Barrenador menor, <i>Elasmopalpus lignosellus</i> ; Chinche castaña, <i>Scaptocoris castanea</i>	Gusano alambre, <i>Conoderus</i> spp. Diplopoda, en siembra directa, <u>solamente algunas especies</u> , destruyendo semillas y cotiledones
Plagas de la parte aérea		
Insectos defoliadores	Insectos chupadores	Insectos barrenadores
<i>Anticarsia</i> , <i>Anticarsia gemmatilis</i> Falso medidor, <i>Pseudoplusia includens</i> , <i>Spodoptera</i> spp., <i>Omoides indicata</i> , <i>Semiothisa abydata</i> , "matacaballos", <i>Proscopia scabra</i> y otras especies Picudo gris, <i>Hypsonotus</i> sp., picudito gris, <i>Promecops</i> sp. Petitas o crisomélidos, <i>Diabrotica speciosa</i> , <i>Cerotoma balteata</i>	Chinche verde pequeña, <i>Piezodorus guildinii</i> Chinche verde, grande alas café, <i>Edessa meditabunda</i> ; chinche cornuda, marrón o chinche café, <i>Euschistus</i> spp., chinche barriga verde, <i>Dichelops furcatus</i> Chinche verdes grandes, <i>Nezara viridula</i> y <i>Acrosternum marginatum</i> Cochinillas, pulgones y mosquita blanca, <i>Bemisia tabaci</i>	Picudo negro, <i>Sternechus pinguis</i> y otra especies Barrenador de los brotes; Barrenadores de los tallos, vainas y brotes, <i>Maruca testulalis</i> y Pyralidae, Pyraustinae, Género y especies indeterminados Barrenador menor, <i>Elasmopalpus lignosellus</i> Raspador/cortador de plántulas y peciolos el cascudo, <i>Myochrous</i> sp.

Durante la época (1993 a 1997) de graves daños por *Sternechus pinguis* había un gran aumento en la presencia de la cochinilla, *Ferresia virgata* (Cockerell) (Sternorrhyncha, Pseudococcidae), pero con el control del *Sternechus* desapareció esta plaga. Muchas plagas de soja pueden ser controladas biológicamente utilizando insecticidas fisiológicos como Alsystin, Match, Atabron, etc., entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, *Metarrhizium anisopliae*, *Paecilomyces farinosus* o insecticidas microbiológicos como *Bacillus thuringiensis* y el virus *Baculovirus anticarsia*.

Cuadro 2. Umbrales económicos de plagas en el cultivo de la soja

Etapa de la planta	Plagas	Umbral económico
Plagas del suelo	Grillotopos, <i>Scapteriscus</i> spp. y <i>Neocurtilla</i> spp. gusano alambre, <i>Conoderus</i> spp. gusanos tierreros, <i>Agrotis</i> spp. y <i>Spodoptera</i> spp., barrenador menor, <i>Elasmopalpus lignosellus</i> , y algunas especies de Diplopoda, la mayoría son benéficos, saprófagos	Control preventivo con "curasemilla", alta densidad de siembra, cebos tóxicos y/o cultivos trampas. En siembra directa, en algunas condiciones
Antes de la floración	Cascudo o cascudiño, <i>Myochrous</i> sp. Defoliadores: <i>Anticarsia gemmatalis</i> , <i>Pseudoplusia includens</i> , <i>Trichoplusia ni</i> , <i>Spodoptera</i> spp., <i>Semiothisa abydata</i> , <i>Omoides indicata</i> , <i>Urbanus proteus</i> , <i>Cerotoma/Diabrotica</i> <i>Bemisia tabaci</i> , plaga "nueva" Picudo negro, <i>Sternechus pinguis</i> Picudo gris, <i>Hypsonotus</i> Picudito gris, <i>Promecops</i>	No hay; curasemilla durante los primeros 21 días Un promedio de 30 a 40 gusanos por paño o 35% de defoliación no definido 1/m lineal (ANAPO), 2/10m lineal (Aceite Fino) 2 plantas muertas por m lineal o 35% defoliación
Prefloración a inicio de formación de vainas	Anticarsia, falso medidor y otros defoliadores, picudo, picudito gris, y crisomélidos Barrenadores de los brotes y de las vainas y tallos, <i>Maruca testulalis</i> , etc.	Con un promedio de 30 a 40 gusanos de 1.5 cm de tamaño por paño o 15% de daño foliar Barrenador de los brotes con 20 a 25% de plantas atacadas
Del inicio de formación de vainas a madurez fisiológica	Chinche verde pequeña, chinche barriga verde, chinche verde grande alas café, chinche verde grande y chinche cornuda marrón	a) para granos: promedio de 4 chinches por paño de muestreo b) para semillas: promedio de 2 chinches por paño

El picudo negro de la soja

Normalmente los adultos de «*Sternechus*» aparecen con las primeras lluvias penetrantes, desde octubre hasta enero en Santa Cruz, Bolivia por ejemplo y los adultos de *S. pinguis* y *S. subsignatus* viven hasta un máximo de cuatro meses. Los adultos atacan plantas de soja, frejol y otras leguminosas como la maleza, *Mimosa velloziana* (Leguminosae) destrozando los peciolos y, dado un cierto grado de grosor de los tallos, y lignificación, las hembras "deshilachan" el tallo y depositan uno o dos huevos en el daño, donde la larva entra el tejido del tallo provocando la formación de una agalla, y después de completar cinco estadios, sale para empuparse en el suelo hasta profundidades de 25 cm. Los daños por los adultos son mucho más graves en estado pequeño de la planta y luego las larvas impiden la circulación de savia, provocan la quiebra del tallo con los fuertes vientos y secamiento.

Los insecticidas que provocan mayores mortandades son beta baytroid, clorpirifos, deltametrina, fosfamidon, permetrina y profenofos; estas mismas pueden ser aplicables para el control de *Hypsonotus*, *Promecops* y *Myochrous*. Adultos de *Sternechus* son bastante difíciles de matar con insecticidas, quizás debido a la resistencia adquirida a través de la exposición a aplicaciones excesivas de insecticidas contra chinches

pentatómidas, las cuales también demuestran resistencia a fosforados. Será altamente recomendable mezclar el insecticida escogido con un producto microbiológico comercial conteniendo esporas del entomopatógeno *Beauveria bassiana*, o mejor sólo para no matar la fauna benéfica en el cultivo y en el suelo (lombrices, enemigos naturales de plagas, descomponedores de material vegetal, microflora y fauna, etc.), provocando así una epidemia mortal en el cultivo. También *Beauveria* controla dramáticamente chinches pentatómidas, larvas lepidópteras y adultos crisomélidos como *Cerotoma* y *Diabrotica* spp.

Con insecticidas es casi imposible matar las larvas de *Sternechus* en las agallas ubicadas en los tallos, debido a sus hábitos ocultos y la interrupción del flujo de savia. En Santa Cruz *Sternechus* fue recolectado por primera vez en 1983, en lab lab, *Dolichos lablab* Linnaeus (Fabales, Leguminosae). Sin embargo, aunque está presente en soja en diferentes propiedades durante los últimos 10 años, no fue registrado como plaga hasta que sus niveles alcanzaron alrededor de 30 por ciento en 1992 en Okinawa, donde encontramos larvas en tallos de «mumuri» *Mimosa velloziana*. En comparación en la propiedad de IMBA en Cañada Larga, *Sternechus* probablemente estaba presente durante los últimos diez años, sin convertirse en una plaga mereciendo medidas de control (Comunicación personal, Landivar, 1998), probablemente debido a una sabia rotación de cultivos, manejo integrado de plagas y prácticas de siembra directa.

Anexo 7

Manejo integrado de artrópodos en maíz, *Zea mays*, y sorgo, *Sorghum bicolor*

Las plagas encontradas en maíz pueden ser agrupados como dependientes o independientes del cultivo; las especies dependientes normalmente atacando las plantas, Gassen, 1996. Entre las plagas dependientes más destacadas del cultivo de maíz, *Zea mays* Linnaeus (Poales, Gramineae) y sorgo, *Sorghum bicolor* (Linnaeus) Moench (Poales, Gramineae), son el cogollero, gusano militar y choclero (*Spodoptera frugiperda*) los gusanos de mazorca, *Heliothis* y *Helicoverpa* y pulgones.

En la temporada 1994/95 en el Santa Cruz se sembraron 89 mil hectáreas de maíz y 90,000 hectáreas de sorgo, y para el control de *Spodoptera frugiperda*, haciendo tan solo una aplicación, el costo económico ascendió a más de dos millones de dólares. En los últimos años esta plaga se ha convertido en un verdadero problema, no solo en el maíz si no también en el algodón, soja y girasol. Anteriormente los gusanos del choclo, *H. zea* y *H. virescens* constituyeron una plaga frecuentemente destructiva en el maíz y sorgo, ahora *S. frugiperda* es igual o más frecuente; Anteriormente en Bolivia no era necesario controlar *Spodoptera* en maíz, ni en algodón.

Diatraea saccharalis (Fabricius) (Pyralidae), el barrenador crámbino de la caña de azúcar, *Saccharum* spp. (Poales, Gramineae), se encuentra comúnmente atacando los tallos de sorgo y de maíz y la parte interna de las mazorcas, aunque son secos. En Bolivia *D. saccharalis* no es considerada una plaga importante de los cañaverales, siendo una plaga común de sorgo y arroz, *Oryza sativa* Linnaeus (Poales, Gramineae), atacando con menor frecuencia al trigo.

Spodoptera frugiperda probablemente es la plaga de mayor importancia en los cultivos para el sector agropecuario cruceño presente en los cultivos del maíz, algodón, arroz y girasol. El control de la misma es bastante difícil y muy costoso. El aumento de superficie de los cultivos en todas las estaciones del año, ligado con el uso masivo y, a veces innecesario, de agroquímicos altamente tóxicos y de amplio espectro en soja, algodón y maíz probablemente es la causa de esta explosión poblacional.

Cuadro 1. Plagas de los cultivos del maíz y sorgo

Plagas del suelo		
Gusanos blanco, <i>Euethela</i> , <i>Phyllophaga</i> y <i>Cyclocephala</i> spp., <i>Dilobderus abderus</i> <i>Strategus</i> , y <i>Dyscinetus</i>	Grillotopo y grillos; <i>Gryllus assimilis</i> y <i>Anurogryllus</i> sp. <i>Scapteriscus</i> spp. y <i>Neocurtilla</i> spp.	Gusano alambre, <i>Conoderus</i> spp. gorgojo del suelo, <i>Pantomorus</i> spp.
Gusanos tierreros, <i>Agrotis</i> spp. y <i>Spodoptera</i> spp, Chinchas castañas y negras, <i>Scaptocoris castanea</i> y <i>Cyrtomenus</i> sp.	Barrenador menor, <i>Elasmopalpus lignosellus</i> <i>Astylus variegatus</i> ; termitas o turiros <i>Procornitermes</i> sp.	Diplopoda, en siembra directa, <u>solamente algunas especies</u> , destruyendo semillas y cotiledones; las demás especies son benéficas
Plagas de la parte aérea		
Insectos defoliadores	Insectos chupadores	Insectos barrenadores
<i>Spodoptera frugiperda</i> <i>Mocis latipes</i> Chrysomelidae, diversas especies ocasionalmente <i>Cerotoma balteata</i> <i>Myochrous rhabdotus</i> <i>Diabrotica speciosa</i> <i>Schistocerca</i> sp.	<i>Rhopalosiphum maidis</i> <i>Dichelops furcatus</i> Pentatomidae, diversas especies ocasionalmente <i>Leptoglossus zonatus</i> <i>Mahanarva spectabilis</i> <i>Deois flavopicta</i> <i>Dalbulus maidis</i> . <i>Peregrinus maidis</i>	<i>Diatraea saccharalis</i> <i>Metamasius</i> spp. Polilla del espiga, <i>Pococera atramentalis</i> o <i>Homoeosoma</i> sp. <i>Listronotus bonarensis</i>
		Insectos chocleros del maíz
		<i>Helicoverpa zea</i> <i>Heliothis virescens</i> <i>Spodoptera frugiperda</i>
Acrididae, diversas especies ocasionalmente	Cicadellidae: géneros y especies indeterminadas	

Anexo 8

Control biológico del complejo *Spodoptera* spp. con el entomopatógeno *Nomuraea rileyi*, el parasitoide *Telenomus remus* y el entomopatógeno *Baculovirus spodoptera* en los cultivos del algodón, arroz, girasol, maíz, sorgo y soja en Santa Cruz, Bolivia.

El control biológico de *Spodoptera* spp. surge como una alternativa de solución del gran problema suscitado en los últimos años en el sector agrícola cruceño, debido a desastrosos ataques del complejo *Spodoptera* spp. en los cultivos económicos, como lo son el algodón, arroz, girasol, maíz, sorgo y soja, cuyos perjuicios anuales ascienden a más de 10 millones de dólares americanos solamente en el uso de agroquímicos en el departamento de Santa Cruz.

En los últimos años esta plaga en diversas formas como gusanos militares, gusanos chocleros, gusanos cogolleros, gusanos defoliadores y gusanos belloteros causó grandes pérdidas en los cultivos ya mencionados; por ejemplo en Santa Cruz en la campaña algodonera de 1998/99 fue necesario emplear alrededor de 4,05 millones US\$ en plaguicidas y su aplicación (6 a 7 aplicaciones, 3 de ellas para *Spodoptera* spp. en 45.000 hectáreas, a un costo mínimo de 25 US\$ para el insecticida y un costo mínimo de 5 US\$ por la aplicación por hectárea) para su control, sin tomar en cuenta las pérdidas económicas causadas en el rendimiento al ser dañados los bolos y la fibra.

Otros cultivos seriamente afectados por esta plaga son arroz, trigo, sorgo, maíz y girasol, que en la temporada 1998/99 demandó control químico con un costo de más de 7 millones US\$. (una aplicación, o más, en 89.000 hectáreas de maíz, 80.000 hectáreas de sorgo y en 90.000 ha de girasol), además de contaminar a los agroecosistemas y destruir gran parte de la fauna benéfica.

Como se puede apreciar esta plaga es un gran problema para la agricultura del Oriente boliviano costando arriba de 15 millones de dólares americanos solamente en los costos

de su control; por lo que es muy importante buscar los medios más eficaces, económicos y ecológicos para solucionar este problema.

Spodoptera frugiperda no era una de las principales plagas del algodón en años anteriores, como lo es en Santa Cruz hoy en día, al igual que en el cultivo de maíz, convirtiéndose en la plaga principal en ambos cultivos en los últimos ocho años, necesitando medidas de control químico. En algodón la plaga conocida como «bellotero», del complejo de *Heliothis virescens* y *Helicoverpa zea*, era de primera importancia, la cual fue desplazada, desde 1990, en importancia por *Spodoptera frugiperda*.

En los últimos años hay mucho uso del entomopatógeno de *Spodoptera* spp., *Baculovirus spodoptera*, no solamente en Centroamérica sino también en Brasil, donde es fuertemente desarrollado por EMBRAPA.

Entonces, aprovechando la crianza del hospedero *Spodoptera* spp. para la multiplicación del parasitoide de huevos *Telenomus remus*, se puede multiplicar el *Baculovirus spodoptera* en los gusanos o larvas de *Spodoptera* spp. provenientes de la cría para la multiplicación de *Telenomus*.

En Bolivia no se han reportado, en 18 años de trabajo asociado con control biológico, parasitoides de huevos de *Spodoptera* spp., con la excepción de una sola recuperación, en 1998, del parasitoide de huevos introducida de Colombia, *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner (Hymenoptera, Trichogrammatidae).

Telenomus remus es importado de Colombia para su uso en algodón en Santa Cruz y los informes indican que con las liberaciones se logra un buen control, sin embargo no hay datos científicos referente a su recuperación de huevos de *Spodoptera* spp. en el campo.

Hace falta instalar un programa de cría masiva y liberaciones seguidas para lograr su establecimiento (Biocontrol clásico) seguido por liberaciones inoculativas en campos de maíz, algodón, trigo, sorgo y girasol para evitar ataques de *Spodoptera* spp.

Telenomus remus siegue siendo ideal para el combate de *Spodoptera* spp. en estado de huevo, pues se disminuiría en gran medida los daños a los cultivos afectados, es por eso necesario la importación y reproducción masiva de *Telenomus remus*. Desde 1962 Metcalf & Flint señalan que *Telenomus remus*, quizás sea el insecto enemigo natural más eficiente de los gusanos militares (*Spodoptera* spp.).

En los últimos años se han observado *Nomuraea rileyi* comúnmente atacando larvas de *Spodoptera frugiperda* en maíz y larvas de *Alabama argillacea* en algodón. Desde más de veinte años, en Santa Cruz, es muy común encontrar casi todas las larvas de *Anticarsia gemmatalis* en soja, muertas con *Nomuraea* en los años lluviosos. La mortandad normalmente es alta todos los años en soja.

Sin embargo en el verano seco de 1998 / 1999 hubo grandes pérdidas en la soja debido a defoliaciones hasta cien por ciento en miles de hectáreas debido a la falta de humedad relativa adecuada para que actúe eficazmente el entomopatógeno, *Nomuraea rileyi*, peor que el ataque coincidió con carnaval.

Con referencia a los ataques a los cultivos por defoliadores larvas lepidópteras es muy importante recordar que en su último estadio larval, la larva consume noventa por ciento del tejido vegetal de su vida larval total y por este motivo la defoliación de campos con cultivos pueda ocurrir en solamente algunos días.

Benefícios de escarabeídeos em lavouras sob plantio direto

por Dirceu N. Gassen *

Introdução

Os insetos e outros invertebrados de solo desempenham importante função na fragmentação e na incorporação de material orgânico, estimulando a atividade microbiológica na mineralização de material orgânico necessário ao crescimento das plantas.

Nas décadas de 70 e 80, o preparo de solo com arado e grade, precedido da queima de palha e o uso de inseticidas clorados e fosforados de alta persistência no ambiente, impediram o desenvolvimento de fauna de solo em agroecossistemas.

A adoção da prática do plantio direto (PD) com a palha mantida na superfície do solo, criou condições para o restabelecimento de fauna nativa de campos e de pastagens nos agroecossistemas.

Os profissionais da agricultura ainda preferem o controle químico, objetivando matar as pragas. Entretanto, os novos conceitos sobre agricultura e as exigências relacionadas à redução do impacto negativo sobre os recursos naturais, determinam a necessidade de manejar a fauna dos agroecossistemas de acordo com os princípios da sustentabilidade econômica, social e ecológica.

A adoção de estratégias de manejo de pragas passa pelo entendimento da função dos organismos afetados na cadeia alimentar, no controle biológico natural e nos aspectos positivos relacionados à decomposição de palha e abertura de galerias no solo.

Nesse trabalho serão apresentados aspectos benéficos de escarabeídeos de solo em lavouras sob plantio direto e informações sobre a importância de escarabeídeos na fragmentação de material orgânico, na reciclagem de nutrientes e na recuperação da estrutura física de solos.

A degradação de material orgânico

Na camada superficial do solo ocorrem as atividades biológicas mais intensas da natureza, em que as cadeias alimentares são formadas pelos produtores (plantas), consumidores e redutores.

Os componentes da fauna podem ser agrupados de acordo com os hábitos alimentares em animais fitófagos (consumidores de plantas), zoófagos (predadores e parasitóides de outros animais), saprófagos (consumidores de animais e vegetais em decomposição),

* Engenheiro Agrônomo, MSc, Pesquisador da Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS. E-mail: gassen@cnpt.embrapa.br

necrófagos (consumidores de animais e vegetais mortos) e geófagos (alimentam-se de terra) (Quadro 1). Também pode ser agrupada, de acordo com o tamanho do corpo, em micro (< 0,2 mm), meso (0,2 a 20 mm) e macrofauna (> 20 mm).

O resultado da ação dos decompositores primários produz a base alimentar para os decompositores secundários e assim sucessivamente até a mineralização do material orgânico. Os escarabeídeos participam no consumo de plantas e, principalmente, na fragmentação de material orgânico.

Os microrganismos apresentam maior capacidade metabólica e enzimática do que os insetos, na decomposição de material orgânico (Curry, 1987) e são muito importantes no processo de mineralização de material orgânico.

A lei dos mínimos (Liebig), inicialmente adotada para demonstrar o efeito de deficiência de nutrientes do solo sobre o desenvolvimento de plantas, pode ser adotado para identificar fatores limitantes ou de maior efeito sobre o fluxo de energia no ecossistema (Odum, 1977). Assim, o fator biótico ou abiótico de maior influência sobre a mortalidade limitará a expansão da população de animais no agroecossistema.

Nos agroecossistemas, a queima de palha, o preparo de solo, as monoculturas extensivas e o uso de agrotóxicos são os fatores de maior influência na quebra do fluxo de energia da natureza. A sucessão de duas culturas anuais extensivas (trigo e soja ou aveia e milho), expondo tipos diferentes de alimento em grande quantidade no ecossistema propicia a explosão de populações de espécies que consomem essas plantas, tornando-se praga.

A abundância de palha na superfície do solo é o fator básico para o restabelecimento de fauna diversificada e para o equilíbrio entre as populações dos agroecossistemas.

O plantio direto restabeleceu as condições para o aumento da atividade biológica e o controle da erosão, atendendo as demandas para a sustentabilidade ecológica dos agroecossistemas.

A fauna de solo nos agroecossistemas

A competição entre espécies e o grau de dependência entre as populações nos ambientes naturais são complexas e levam ao equilíbrio nas comunidades.

A fauna de solo é de grande importância na decomposição e mineralização de plantas e resíduos orgânicos e na estruturação do solo. Os artrópodes, destacando os insetos, participam na fragmentação das plantas, na incorporação dos resíduos, na abertura de galerias e na predação de outros insetos (Quadro 1).

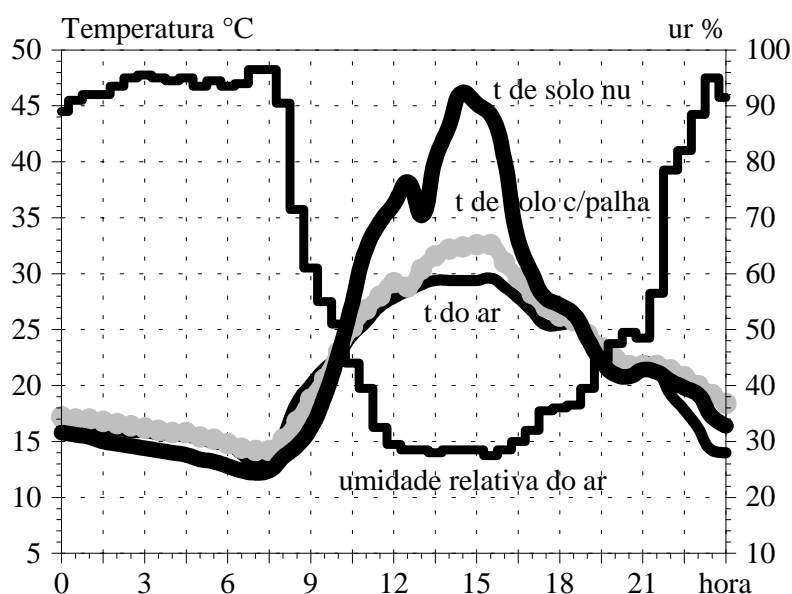
O volume de poros, a umidade, a ventilação e a temperatura do solo são os fatores abióticos que mais influenciam na ocorrência e na seleção de artrópodes de solo. Em florestas, por exemplo, o solo apresenta espaços amplos na camada superficial orgânica. Nas lavouras, a mecanização e o preparo intenso do solo, causam o adensamento, a desestruturação e a impermeabilização. A exposição da terra à radiação solar, resulta na elevação da temperatura, atingindo níveis letais para a fauna, nas horas mais quentes do dia (Figura 1).

O preparo de solo, associado ao uso de inseticidas persistentes, determinam a redução na diversidade da fauna associada à agricultura. A palha na superfície do solo e o plantio direto permitem o restabelecimento de comunidades diversificadas com espécies ainda desconhecidas na agricultura.

Quadro 1. Atividade biológica na decomposição de material orgânico em agroecossistemas (adaptado de Odum, 1977)

Atividade	Principais grupos	Resultado
Fragmentação	Herbívoros ou fitófagos: ácaros, crustáceos, colêmbolos, insetos, moluscos, nematódeos e protozoários	Consumidores de plantas e de resíduos orgânicos, reduzindo o tamanho das partículas
Predação	Carnívoros ou zoófagos: ácaros, aracnídeos, insetos e protozoários	Predadores e parasitos de outros animais
Agregação e mineralização	Coprófagos, necrófagos e saprófagos: ácaros, anelídeos, insetos e microrganismos	Consumidores de excrementos e material animal e vegetal em decomposição e abertura de galerias no solo

Figura 1.
Temperaturas da superfície de solo arado, de solo coberto com palha e da massa de ar, e umidade relativa do ar em diferentes momentos do dia (Gassen, 1993).



A importância da fauna de solo na mineralização da matéria orgânica é destacada através da liberação de ácidos orgânicos (oxálico, cítrico, tartárico e málico) (Sá, 1993). Os organismos vivos, durante este processo, atuam como agentes complexantes de elementos tóxicos como o alumínio e o manganês. Isso pode explicar o crescimento exuberante de plantas nativas em solos considerados fracos.

Sob a palha na superfície do solo desenvolve-se uma fauna diversificada cobrindo os diversos níveis da cadeia de decomposição e de mineralização de material orgânico.

Os escarabeídeos nos agroecossistemas

Os insetos conhecidos como corós, bicho-bolo, capitão, pão-de-galinha ou escarabeídeos, são besouros que pertencem a superfamília Scarabaeoidea, um grupo com numerosas espécies, cuja biologia e identificação são pouco conhecidas na América do Sul.

Em agricultura, os escarabeídeos caracterizam-se, tipicamente, como insetos de solo subterrâneos, compondo parte da macrofauna dos agroecossistemas. Algumas espécies alimentam-se de plantas causando danos econômicos, outras alimentam-se de resíduos de material orgânico, de excrementos (rola-bosta), de material em decomposição e até de outros insetos (predadores).

As espécies que se alimentam de plantas em agricultura também apresentam características benéficas na abertura de galerias e na incorporação de nutrientes. Outras espécies, presentes em lavouras sob plantio direto e em pastagens, são exclusivamente úteis na incorporação e na fragmentação de palha.

Coró-da-pastagem, *Diloboderus abderus*

O coró-da-pastagem é nativo das regiões de vegetação rasteira no Rio Grande do Sul, na Argentina e no Uruguai. Com a adoção da prática do plantio direto, encontrou ambiente favorável estabelecendo-se como praga em lavouras e causando danos em culturas de inverno e em pastagens no período de junho a setembro.

Apesar dos danos causados pelas larvas, a divulgação de informações relacionadas a importância do inseto na abertura de galerias e na incorporação de nutrientes no perfil do solo, justificou a denominação de praga-útil para o coró-da-pastagem.

Estudos relacionados aos aspectos positivos da presença do coró-da-pastagem, determinando a distribuição dos teores de nutrientes no perfil de solo e a importância do inseto na incorporação e na mineralização de material orgânico, foram realizados por Gassen et al. (1993). Amostras foram coletadas no perfil de solo, em camadas de 5 cm, até 25 cm de profundidade, e dos resíduos encontrados nas câmaras de larvas de *D. abderus*. As amostras foram tomadas em lavouras de Santa Rosa e Giruá, RS, em solo classificado como Latossolo Roxo, com mais de 60 % de argila e, em Pontão, RS, em lavoura de Latossolo Vermelho Escuro distrófico. Os teores de fósforo (P), de potássio (K), de matéria orgânica (MO), de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) estão concentrados na camada superficial, até 5 ou 10 cm de profundidade no solo (Quadro 2).

Em geral, os teores de P e de K encontram-se em níveis muito baixos na camada de 15 a 25 cm no perfil do solo (Quadro 2). O conteúdo das câmaras do coró, nesta faixa, apresenta teores de nutrientes várias vezes superiores e equivalentes aos da camada superficial mais fértil do solo. O depósito de fezes e de resíduos orgânicos, no fundo das galerias, é um importante benefício decorrente da presença de larvas do coró em lavouras sob plantio direto. Além disso, as galerias verticais, com 1,8 cm de diâmetro, absorvem a água de chuvas e são canais abertos para o transporte vertical de nutrientes e de resíduos orgânicos e para o desenvolvimento de raízes no perfil do solo.

Outros estudos foram realizados por Gassen e Kochhann (1993) em lavoura de trigo há seis anos sob plantio direto, em Ernestina, RS. Constatou-se a presença de $73,3 \pm 8,6$ galerias/m², numa área de aproximadamente 12 ha.

Os teores de argila e de alumínio (Al) foram menores na camada superficial e equivalentes aos dos resíduos orgânicos e solos encontrados na câmara da larva do coró-da-pastagem (Quadros 3 e 4 e Figura 2).

Os teores de P, de K, de Mg, de Ca e de MO estavam concentrados na camada superficial, até 10 cm de profundidade, e eram equivalentes aos teores dos mesmos fatores nas câmaras das larvas (Quadros 3 e 4 e Figuras 3 a 6).

O conteúdo das câmaras do coró apresentou teores de nutrientes várias vezes superiores aos da camada entre 10 e 25 cm e equivalentes aos da camada superficial mais fértil do solo (0 a 5 cm) (Quadros 3 e 4 e Figuras 2 a 6).

A abertura de galerias verticais, a fragmentação de material orgânico e o depósito de excrementos na câmara larval no perfil do solo são importantes benefícios decorrentes da presença de larvas de *D. abderus* em lavouras sob plantio direto.

Quadro 2. Teores de nutrientes em camadas no perfil do solo e na câmara larval de *Diloboderus abderus*, em lavouras sob plantio direto (PD) no RS - Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 1993 (Gassen et al. 1993)

Giruá, RS, 1991 - três anos sob PD							
Camada cm	pH	P ppm	K ppm	MO %	Al*	Ca*	Mg*
0-5	6,6	28,4	>200	3,7	0	8,0	3,7
6-10	6,8	17,2	192	2,7	0	8,7	3,7
11-15	6,9	7,4	96	2,4	0	6,4	2,8
16-20	6,6	3,1	82	2,1	0	4,5	2,1
21-25	6,3	2,7	56	1,9	0	3,8	1,7
Câmara	6,1	72,8	>200	4,5	0	9,3	3,4
Santa Rosa, RS, 1993 - seis anos sob PD							
Camada cm	pH	P ppm	K ppm	MO %	Al*	Ca*	Mg*
0-5	6,1	15,1	>200	3,2	0,0	10,8	3,5
6-10	5,9	4,5	>200	2,5	0,0	9,4	2,5
11-15	5,7	2,6	184	2,1	0,1	7,8	1,7
16-20	5,7	1,4	124	1,6	0,1	9,5	1,9
21-25	5,6	1,7	72	1,0	0,1	6,4	1,5
Câmara	6,1	6,0	>200	4,4	0,0	10,9	2,8
Pontão, RS, 1993 - quatro anos sob PD							
Camada cm	pH	P ppm	K ppm	MO %	Al*	Ca*	Mg*
0-5	5,1	16,7	>200	2,9	0,3	5,3	2,5
6-10	4,9	8,3	76	2,9	0,7	3,6	1,6
11-15	4,8	6,4	50	2,5	1,3	2,7	1,7
16-20	4,6	5,2	34	2,3	1,9	3,0	1,5
21-25	4,4	3,6	30	2,4	3,0	2,2	1,2
Câmara	5,3	23,2	>200	4,1	0,2	7,0	3,2

* me/100g.

Quadro 3. Teores de acidez (pH), alumínio (Al), de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) no perfil do solo e em câmaras de larvas de *Diloboderus abderus*. (Gassen e Kochhann, 1993)

Profundidade cm	Argila %	P ppm	K Ppm	M.O. %
0-5	5,6 a	0,13 c	5,7 ab	1,9 ab
5-10	5,5 a	0,26 c	5,1 b	1,6 b
10-15	5,4 a	0,41 c	4,4 b	1,6 b
15-20	4,9 b	1,41 b	2,6 c	1,1 c
20-25	4,7 b	2,24 a	1,8 c	0,9 c
Câmara	5,5 a	0,20 c	6,6 a	2,1 a
C.V. %	7,1	6,2	4,9	15,6

Médias seguidas da mesma letra são equivalentes através do teste de Tukey 95 %.

Quadro 4. Teores de argila, de fósforo (P), de potássio (K) e de matéria orgânica (M.O.) no perfil do solo e em câmaras de larvas de *Diloboderus abderus*. (Gassen e Kochhann, 1993)

Profundidade cm	Argila %	P ppm	K Ppm	M.O. %
0-5	30,8 ab	55,4 a	194 a	3,4 b
5-10	34,6 c	26,5 bc	126 ab	2,5 c
10-15	41,6 ab	17,7 cd	79 b c	2,3 cd
15-20	46,0 a	7,8 de	50 c	2,1 cd
20-25	47,0 a	3,5 e	33 c	2,0 d
Câmara	35,0 bc	46,0 a	172 a	4,7 d
C.V. %	8,9	3,6	7,5	19,6

Médias seguidas da mesma letra são equivalentes através do teste de Tukey 95 %.

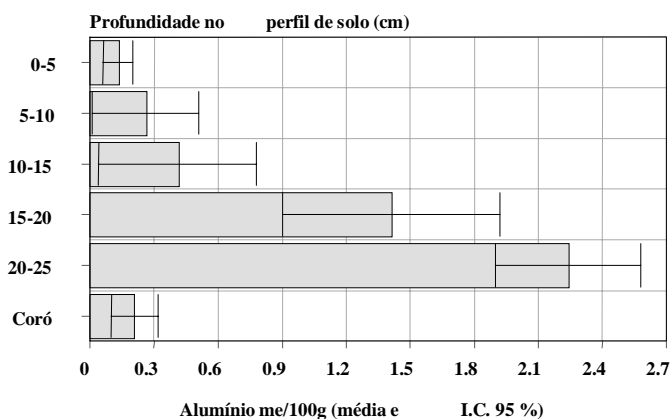


Figura 2. Teores de alumínio em camadas no perfil de solo e em câmaras de larvas do coró *Diloboderus abderus* (Gassen e Kochhann, 1993).

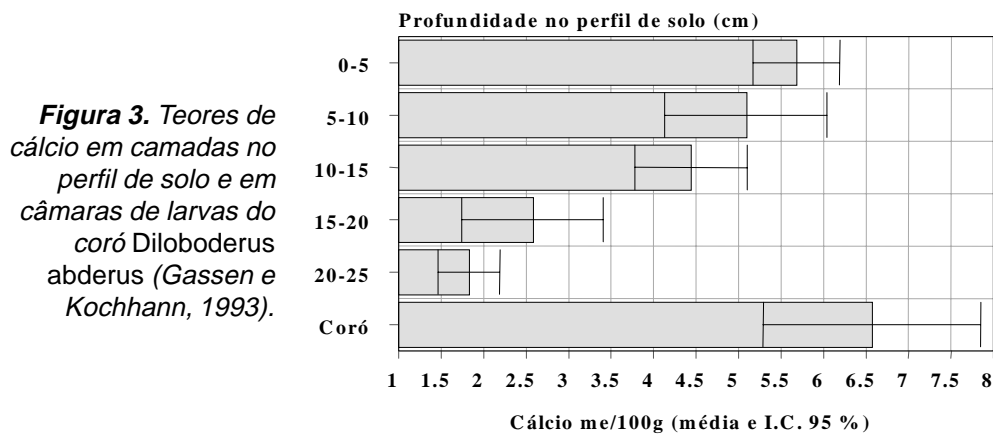


Figura 3. Teores de cálcio em camadas no perfil de solo e em câmaras de larvas do coró *Diloboderus abderus* (Gassen e Kochhann, 1993).

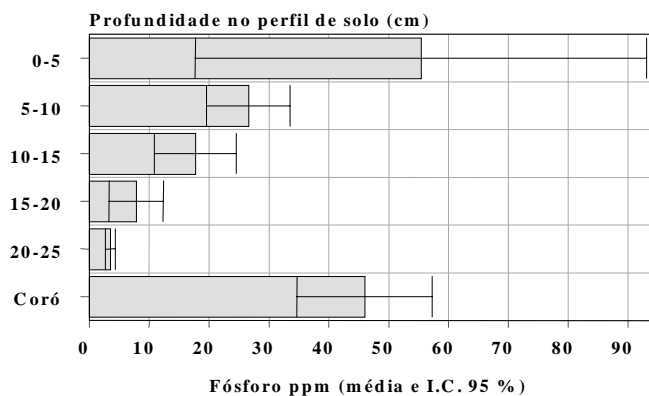


Figura 4. Teores de fósforo em camadas no perfil de solo e em câmaras de larvas do coró *Diloboderus abderus* (Gassen e Kochhann, 1993).

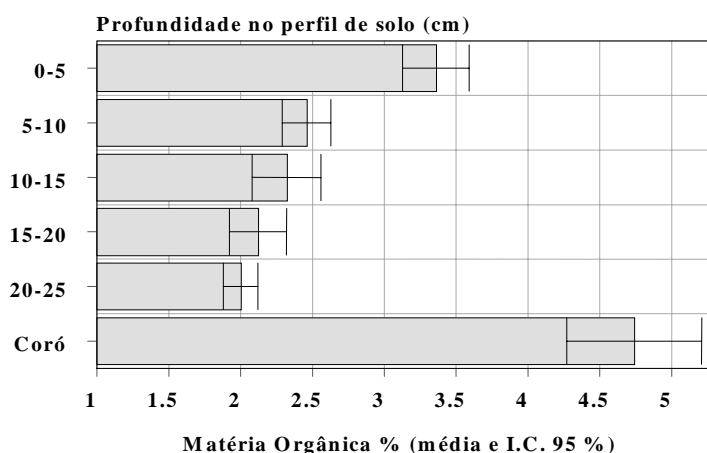
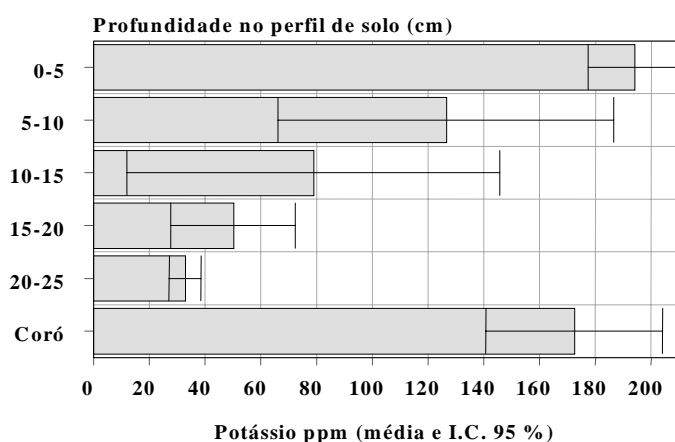


Figura 5. Teores de matéria orgânica em camadas no perfil de solo e em câmaras de larvas do coró *Diloboderus abderus* (Gassen e Kochhann, 1993).

Figura 6. Teores de potássio em camadas no perfil de solo e em câmaras de larvas do coró *Diloboderus abderus* (Gassen e Kochhann, 1993).



A variação nos dados obtidos nos teores de fósforo e de potássio, expressa pelo coeficiente de variação mais elevado (Figuras 4 e 6), pode ser explicado como consequência da aplicação destes elementos na linha de semeadura, que determina distribuições concentradas nas fileiras das plantas. Os outros elementos em geral não são aplicados nas lavouras e não sofrem esta influência na distribuição, resultando em coeficientes de variação menores.



Figura 7. Larva de *Bothynus sp.* com palha armazenada no solo.

A abertura de galerias verticais, a transformação de material orgânico e o depósito de excrementos na câmara larval no perfil do solo são importantes benefícios decorrentes da presença de larvas de *D. abderus* em lavouras sob plantio direto (Gassen, 1993c).

Coró-da-palha, *Bothynus sp.*

Os adultos apresentam tamanho do corpo com 26 mm de comprimento e 16 mm de largura, coloração preta, marrom escura e as vezes acastanhada, com pernas robustas e pelos longos de coloração alaranjada e distintos na face ventral. São atraídos por lâmpadas em noites quentes nos meses de outubro a dezembro.

As larvas coletam palha (feno) na superfície do solo e armazenam na galeria (Figura 7). Após coletar o volume necessário de palha para se alimentar e atingir a fase de pupa, as larvas fecham a parte superior e segmentos da galeria com terra endurecida com

saliva. Espécies do gênero *Bothynus*, encontradas nos cerrados, fecham a entrada da galeria simulando a pisada de um animal, vista de cima, como provável estratégia de despiste predadores.

A profundidade das galerias varia entre 0,4 e 1,0 m. Na região de Sapezal, MT, foram cavadas galerias até 1,28 m, contendo aproximadamente 48 g de excrementos.

A larva passa à fase de pupa, no inverno, após o consumo da palha, entre os excrementos depositados no fundo da galeria.

Os teores de P, de K e de MO, encontrados na câmara larval, são equivalentes aos da camada superficial do solo e várias vezes superiores aos da camada onde se encontram as câmaras das larvas (Quadro 5) (Gassen, 1993a,b).

Quadro 5. Análise de componentes da fertilidade do solo em camadas no perfil e de resíduos na câmara de larvas de *Bothynus* sp., em lavoura sob plantio direto, Entre Rios, PR (Gassen, 1993b)

Camada cm	pH	P ppm	K ppm	MO %	Al*	Ca*	Mg*
0-5	5,1	8,9	>200	5,8	0,18	5,7	2,2
5-10	5,2	8,5	164	3,8	0,17	5,5	2,0
10-15	4,9	1,4	162	3,3	0,49	2,2	1,2
15-20	4,8	1,2	104	2,7	0,51	1,2	0,7
20-25	4,8	0,7	84	2,4	0,48	1,0	0,7
25-30	4,8	0,5	66	2,2	0,43	1,0	0,6
Câmara	5,3	7,6	>200	>9,4	0,17	9,3	3,7

* me/100g.

O coró-da-palha pode ser caracterizado como verdadeiro símbolo do plantio direto, pela adaptação às condições de lavouras, pela frequência elevada que ocorre, pela ampla distribuição geográfica desde o sul do Brasil até a região Amazônica, pela incorporação de palha e depósito de excrementos em galerias profundas e pela ausência de danos diretos às plantas cultivadas.

A larva do coró-da-palha apresenta características morfológicas e hábitos de construção de galerias semelhantes aos do coró-da-pastagem, gerando expectativa de danos e apreensão aos agricultores.



Figura 8. Larva de *Bothynus* spp. deslocando-se na superfície do solo, com o dorso do corpo para o solo e as pernas para o ar.

As larvas do coró-da-palha caracterizam-se pelo hábito de se movimentarem com o dorso do corpo voltado para a superfície do solo e as pernas para o ar (Figura 8), enquanto, as larvas do coró-da-pastagem, danosas nos meses de inverno no sul do Brasil, movimentam-se com as pernas para o solo (Gassen, 1999).



Figura 9. Raster de larvas de *Cyclocephala flavipennis* (E) e de *Phyllophaga* sp. (D) (Gassen et al. 1984; Gassen 1989) e 1999).

Coró, *cyclocephala flavipennis*

O coró *Cyclocephala flavipennis* ocorre em lavouras sob PD e em pastagens. Alimenta-se de palha e não causa danos às plantas cultivadas, mesmo em populações elevadas (100 larvas/m²). As larvas dessa espécie podem ser caracterizadas pelo tipo e pela distribuição de espinhos e cerdas no raster, parte ventral do último segmento abdominal (Figura 9) (Gassen et al., 1984; Gassen, 1989).

Esta espécie é encontrada em lavouras com abundância de palha e em pastagens. As larvas não cavam galerias e deslocam-se em busca de palha e de resíduos vegetais para alimentação (Gassen, 1989). Em laboratório, confinados em baldes e na ausência de palha, as larvas causaram danos em plantas de trigo (Gassen e Linhares, não publicado).

Nas infestações de lavouras pode-se assegurar que as larvas não causarão danos e que são úteis na decomposição de palha e no revolvimento de solo nas camadas superficiais.

As larvas apresentam características morfológicas e localização no solo, semelhantes às do coró-do-trigo, *Phyllophaga* sp., que ataca plantas no verão e no inverno. A diferenciação entre as larvas pode ser feita através das características de distribuição de espinhos e cerdas no raster, parte ventral do último segmento abdominal (Gassen et al., 1984, Gassen, 1989 e 1999) (Figura 9).

O coró *C. flavipennis* e o coró-do-trigo *Phyllophaga* sp. ocorrem no sul do Brasil e foram identificadas por M.A. Morón **.

Considerações finais

Os escarabeídeos de solo desempenham importante função na fragmentação de material orgânico e na reciclagem de nutrientes. As galerias permitem maior infiltração de água das chuvas, a incorporação de nutrientes, o crescimento de raízes e a melhor estruturação física do solo.

Entre agricultores formou-se a opinião de que o plantio direto beneficia os escarabeídeos e a alternativa de controle das espécies-praga seria o preparo intensivo do solo. Estudos evidenciam que os corós passaram a ser considerados aliados do agricultor, após a identificação de espécies úteis e as alternativas de controle das espécies-praga, através do tratamento de sementes com inseticidas e do estímulo aos agentes de controle biológico com a palha na superfície.

Sob plantio direto, o uso de inseticidas de amplo espectro de ação pode causar a morte de insetos benéficos, que consomem palha, cavam galerias, ou são inimigos naturais de pragas, exigindo conhecimento dos profissionais de agricultura e valores éticos diferentes dos adotados nas lavouras sob preparo convencional de solo.

** Correspondência do taxonomista Miguel A. Morón, do Instituto de Ecología, Área de Ecología y Biosistemática de Animales. Xalapa, Mexico, enviada ao Eng.-Agr. Dirceu N. Gassen, pesquisador da Embrapa Trigo, em 9.7.91.

Literatura citada

- CURRY, J.P. 1987. The invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. III. Effects on soil fertility and plant growth. *Grass and forage science*, v.42, n.4, p.325-341.
- GASSEN, D.N. 1993a. Bioecologia de insetos de solo no sistema de plantio direto. **In:** Simpósio Internacional sobre Plantio Direto em Sistemas Sustentáveis, 1993, Ponta Grossa, PR. Anais. Ponta Grossa: Fundação ABC. p.137-151.
- _____. 1993b. Corós associados ao sistema plantio direto. **In:** EMBRAPA-CNPT. FUNDACEP FECOTRIGO. Fundação ABC. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte. p.141-149.
- _____. 1993c. *Diloboderus abderus* (Coleoptera: Melolonthidae) in no-tillage farming in southern Brazil. **In:** Morón, M.A. ed. Diversidad y manejo de plagas subterráneas. Xalapa: Sociedad Mexicana de Entomología e Instituto de Ecología. p.129-141.
- _____. 1999. Identificação de larvas de corós encontradas em plantio direto. Disponível: site Embrapa Trigo. URL: <http://www.cnpt.embrapa.br/pragas/coro.htm> Consultado em 25 mar.
- _____. 1984. Insetos associados à cultura do trigo no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. 39p. (EMBRAPA-CNPT. Circular Técnica, 3).
- _____. 1992. Insetos associados ao sistema plantio direto. **In:** Congreso Interamericano de Siembra Directa, 1./Jornadas Binacionales de Cero Labranza, 2., 1992, Vila Giardino, Cordoba. Trabajos presentados. Vila Giardino, Cordoba: AAPRESID. p.253-276.
- _____. 1989. Insetos subterrâneos prejudiciais às culturas no sul do Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. 49p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 13).
- _____. BRANCO, J.P.; SANTOS, D.C. 1984. Observações sobre controle de *Phytalus sanctipauli* (Col., Melolonthidae), coró do trigo. **In:** EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). Resultados de pesquisa.... Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. p.120-127. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 7).
- _____. KOCHHANN, R.A. 1993. *Diloboderus abderus*: benefícios de uma praga subterrânea no sistema plantio direto. **In:** Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, 1., 1993, Ponta Grossa, PR. Anais. Ponta Grossa: IAPAR. p.101-107.
- _____. KOCHHANN, R.A.; SCHNEIDER, S. 1993. Benefícios da presença de *Diloboderus abderus* em lavouras sob sistema plantio direto. **In:** Reunião Sul-Brasileira de Insetos de Solo, 4., 1993, Passo Fundo, RS. Anais. Passo Fundo: EMBRAPA/SEB. p.152-154.
- ODUM, E.P. 1977. Ecologia. São Paulo: Pioneira. 201p.
- ROBIANA, C.R.P.; BRANDÃO, O.; PEDROSO, I.B.O.; TAVARES, J. 1966. Influência da biologia do solo na porosidade. *Lavoura Arrozeira*, v.49, n.429.
- SÁ, J.C.M. 1993. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro: Fundação ABC. 96p.
- SILVA, A.G.; GONÇALVES, C.R.; GALVÃO, D.M.; GONÇALVES, A.J.Z.; GOMES, J.; SILVA, M.N.; SIMONI, L. 1968. Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil; seus parasitos e predadores. Rio de Janeiro: Laboratório de Patologia Vegetal, p.2, t.2, 265p.

Controle biológico de pulgões de trigo

por Dirceu N. Gassen*

O controle biológico é um fenômeno natural entre organismos vivos que forma cadeias de relações complexas entre vegetais (produtores) e as diversas castas de animais (consumidores), resultando em equilíbrio de populações e em comunidades estáveis.

Com a introdução da agricultura e o cultivo de trigo, de cevada e de aveia em áreas extensivas, criaram-se condições favoráveis à ocorrência de espécies que poderiam tornar-se praga. Os pulgões, nativos da Ásia e da Europa, chegaram ao Brasil livres de seus inimigos naturais e encontraram clima favorável e áreas extensivas cultivadas com cereais, fatores que permitiram a explosão de populações do pulgão-dos-cereais, do pulgão-da-folha e do pulgão-da-espiga, além de espécies de ocorrência esporádica (Quadro 1).

Durante a década de 70, os pulgões foram o principal problema fitossanitário em cereais de inverno. Os agricultores aplicavam inseticidas de três a cinco vezes, para o controle da praga, durante o desenvolvimento das culturas.

Quadro 1. Espécies de pulgões citados em trigo no Brasil

Nome comum	Nome científico
Pulgão-dos-cereais	<i>Schizaphis graminum</i>
Pulgão-da-folha	<i>Metopolophium dirhodum</i>
Pulgão-da-raiz	<i>Rhopalosiphum rufiabdominale</i>
Pulgão-da-espiga	<i>Sitobion avenae</i>
Pulgão-da-aveia	<i>Rhopalosiphum padi</i>
Pulgão-do-milho	<i>Rhopalosiphum maidis</i>
Pulgão-amarelo	<i>Sipha flava</i>

Na Embrapa Trigo, em 1978, sob a coordenação do pesquisador Luiz A.B. de Salles e a participação de Franco Luchini, iniciou-se o programa de controle biológico de pulgões de trigo. As ações receberam o apoio da FAO, da Universidade da Califórnia, dos entomólogos Robert van den Bosch, Enrique Zuñiga, Paul A. Gutierrez e de outros especialistas em controle biológico. Os pesquisadores F. Luchini e L.A.B. de Salles foram substituídos por Fernando J. Tambasco e Dirceu N. Gassen, respectivamente, que deram continuidade ao programa.

* Engenheiro Agrônomo, MSc, Pesquisador da Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS. E-mail: gassen@cnpt.embrapa.br

Com base no método clássico de controle biológico, foram introduzidas 14 espécies de himenópteros parasitóides e duas espécies de joaninhas predadoras de pulgões (Quadro 2). Em insetários da Embrapa Trigo, foram criados 3,8 milhões de parasitóides, principalmente de oito espécies: *Aphelinus asychis*, *Aphidius ervi*, *A. rhopalosiphi*, *A. uzbekistanicus*, *Ephedrus plagiator*, *Praon gallicum*, *P. volucre* e *Lysiphlebus testaceipes*. Esses parasitóides foram liberados nas regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil. Em 1981, foram enviadas matrizes de parasitóides à Argentina, onde foi iniciado um programa de controle biológico de pulgões.

Quadro 2. Parasitóides e predadores de pulgões introduzidos no Brasil para o controle biológico de pulgões de trigo, hospedeiros de parasitóides e países de origem

Espécie	Hospedeiro	Origem
Hymenoptera - Aphelinidae (parasitóides)		
<i>Aphelinus abdominalis</i>	Md	Chile
<i>Aphelinus asychis</i>	Md, As	França
<i>Aphelinus flavipes</i>	Sg	França
<i>Aphelinus varipes</i>	Md, Sg	França, Hungria
Hymenoptera - Aphidiidae (parasitóides)		
<i>Aphidius colemani</i> **	Md, As	França, Israel
<i>Aphidius ervi</i>	Ak, Ap, Md, Sg	Checoslováquia, França
<i>Aphidius picipes</i>	Sg	Checoslováquia, Hungria, Itália
<i>Aphidius rhopalosiphi</i>	Md, As, Sg	Checoslováquia, Chile, França
<i>Aphidius uzbekistanicus</i>	Md, As	Itália
<i>Ephedrus plagiator</i>	Md, As	Checoslováquia, França
<i>Lysiphlebus testaceipes</i> **	Sg	Chile
<i>Praon gallicum</i>	Md	França
<i>Praon volucre</i>	Md	Checoslováquia, Espanha, França
Coleoptera - Coccinellidae (predadores)		
<i>Coccinella septempunctata</i>	Pulgões e outros insetos	Israel
<i>Hyppodamia quinque-signata</i>	Pulgões e outros insetos	Estados Unidos

* Hospedeiros dos parasitóides nos países de origem. Ak = *Acyrtosiphon kondoi*; Ap = *Acyrtosiphon pisum*; Md = *Metopolophium dirhodum*; Sa = *Sitobion avenae*; e Sg = *Schizaphis graminum*.

** Espécies já citadas no Brasil antes de iniciar o programa.

No Brasil, observou-se a adaptação de *Aphidius uzbekistanicus* sobre o pulgão *S. avenae* e de *Aphidius rhopalosiphii* e *Praon volucre* sobre os pulgões *S. avenae* e *M. dirhodum*. Foi verificada a diapausa estival facultativa (dormência durante o verão) dos parasitóides *A. uzbekistanicus* e *A. rhopalosiphii*, na fase de pupa, durante o verão, no Rio Grande do Sul. Essas características sugerem que os restos culturais não devem ser queimados ou incorporados, mas, sim, mantidos na superfície do solo para servirem de refúgio aos parasitóides durante o verão.

A espécie *P. volucre* passou a hospedar outros afídeos em plantas ornamentais, em alfafa, em ervilha e em gramíneas nativas.

Os pulgões dos gêneros *Rhopalosiphum* e *Schizaphis* são parasitados com maior frequência por *Aphidius colemani* e por *Diaeretiella rapae*. Com menor intensidade, observou-se o parasitismo por *Ephedrus plagiator*, por *Aphelinus* sp. e por *Praon gallicum*.

Os parasitóides da família Aphidiidae apresentam aspecto geral do corpo semelhante e têm aproximadamente dois milímetros de comprimento. Para a diferenciação dos gêneros de adultos, usam-se os desenhos das nervuras das asas anteriores.

Os parasitóides fazem a postura no interior do corpo de pulgões, onde eclodem as larvas. Aproximadamente sete dias após, os parasitóides causam a morte dos pulgões, passando a fase de pupa no interior do corpo do hospedeiro. O pulgão morto pelas vespas é denominado múmia, dentro da qual desenvolve-se a pupa, que dá origem a uma vespa.

Os pulgões mortos por parasitóides dos gêneros *Ephedrus* e *Aphelinus* tornam-se pretos na fase de múmia. Os parasitóides do gênero *Praon* tecem um casulo na parte inferior do pulgão morto, onde passam à fase de pupa. As espécies do gênero *Aphidius*, *Diaeretiella* e *Lysiphlebus* causam a morte de pulgões, dando-lhes uma coloração pardo-clara, aparentando um pulgão seco, e mantendo as formas normais do hospedeiro.

A meta inicial do programa de controle biológico foi de contribuir com 10 a 15 % de mortalidade dos pulgões de trigo. Essa meta foi amplamente ultrapassada. Após a introdução e adaptação dos parasitóides, houve acentuada redução das populações médias de pulgões que se mantiveram abaixo dos níveis de dano econômico. Levantamentos realizados em cooperativas e em propriedades agrícolas evidenciaram a redução de 95 % de uso de inseticida para controle da praga em trigo. O impacto econômico do controle biológico de pulgões, durante a década de 80, foi calculado em 20 milhões de dólares anuais, somente na redução de custos diretos de inseticidas e de aplicação.

Parasitóides secundários (hiperparasitos) hospedam os pulgões com parasitóides primários, interrompendo a cadeia de controle biológico da praga. Os principais parasitóides secundários encontrados no Brasil foram: *Alloxysta* sp. (Hym., Cynipidae), *Aphidencyrus* sp. (Hym., Encyrtidae), *Tetrastichus* sp. (Hym., Eulophidae), *Asaphes* sp. e *Pachineuron* sp. (Hym., Pteromalidae).

Os pulgões em trigo também podem ser infectados pelos fungos *Conidiobolus obscuros*, *Entomophthora planchianiana*, *Erynia neoaphidis* e *Zoophthora radicans*.

As joaninhas (Col., Coccinellidae), de tonalidade brilhante, são predadoras de pulgões de ocorrência freqüente nas lavouras. Cada indivíduo pode consumir mais de 20 mg de pulgões diariamente. O peso médio de pulgões adultos, em trigo, varia de 0,5 a 1,5 mg/pulgão nas espécies *S. graminum* e *M. dirhodum*, respectivamente.

Entre as espécies observadas com maior frequência em trigo, destacam-se: *Coccinellina ancoralis*, *C. pulchella*, *Coleomegilla quadrifasciata*, *Cycloneda sanguinea*, *Eriopis connexa*, *Hippodamia convergens*, *Hyperaspis* sp., *Olla v-nigrum*, *Scymmus* sp. e outras encontradas esporadicamente.

As espécies *Coccinella septempunctata* e *Hippodamia quinquesignata*, introduzidas no Brasil, não foram mais recoletadas e, possivelmente, não se adaptaram ao novo ambiente.

As larvas de moscas da família Syrphidae são predadoras de pulgões, introduzindo o aparelho bucal no interior do corpo da presa, da qual extraem substâncias líquidas. Os adultos alimentam-se de néctar, de pólen e de substâncias adocicadas. Entre os sirfídeos citados em trigo, destacam-se *Allograpta* spp., principalmente *A. exotica*, *Pseudodorus clavatus* e *Toxomerus* spp.

O controle químico de pulgões, através de inseticidas de ação rápida, de baixo preço e de fácil aplicação, ainda é o método preferido por muitos agricultores. Atualmente, há preocupação quanto à escolha de métodos mais permanentes e menos agressivos ao ambiente, destacando-se as práticas culturais, que facilitem a sobrevivência dos inimigos naturais.

Quando o uso de inseticidas for necessário, deve-se dar preferência a produtos seletivos a predadores e a parasitóides.

Os pulgões passaram da condição de principal problema fitossanitário em trigo, na década de 70, com intenso uso de inseticidas, para a condição de inseto secundário após a introdução, criação massal e liberação dos agentes de controle biológico.

A introdução de parasitóides para o controle natural de pulgões de trigo, no Brasil, é um dos exemplos clássicos de maior sucesso prático de controle biológico de pragas já estabelecidos no mundo.

Manejo de *Diloboderus abderus* em lavouras e pastagens

por Dirceu N. Gassen*

Introdução

O coró-da-pastagem, *Diloboderus abderus* (Col., Scarabaeidae), é a espécie de escarabeídeo mais conhecida na literatura do sul do Brasil, do Uruguai e da Argentina. A ocorrência é limitada às regiões com chuvas no inverno e vegetação rasteira de pastagens ou áreas com a presença de palha na superfície do solo. Não se desenvolve nas regiões com invernos secos como a dos cerrados brasileiros.

O inseto é citado como praga em pastagens e em cereais de inverno, desde a década de 50 (Costa, 1958; Silva et al., 1968). Em lavouras de inverno é citado como praga na região do planalto do RS (Guerra et al., 1976; Gassen, 1984, 1989; Silva, 1992).

Neste trabalho serão apresentadas as características gerais de biologia do inseto, de danos aos cereais de inverno, de amostragem e de métodos de controle da praga, com base em bibliografia e em estudos realizados na Embrapa Trigo.

Biología

Aspectos sobre a biologia do coró-da-pastagem foram descritos por Baucke (1965), por Alvarado (1979), por Morey e Alzugaray (1982) e por Gassen e Schneider (1992).

Os adultos do coró-da-pastagem (Figura 1) apresentam acentuado dimorfismo sexual; a fêmea com 25 mm de comprimento e 13 mm de largura e o macho com 27 x 14 mm e provido de duas expansões pontiagudas no pronoto (face dorsal do primeiro segmento torácico) e um prolongamento longo e afilado no dorso da cabeça (Baucke, 1965; Gassen e Schneider, 1992).



Figura 1. Fêmea (E) e macho (D) adultos do coró-da-pastagem, *Diloboderus abderus*.

* Engenheiro Agrônomo, MSc, Pesquisador da Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS. E-mail: gassen@cnpt.embrapa.br

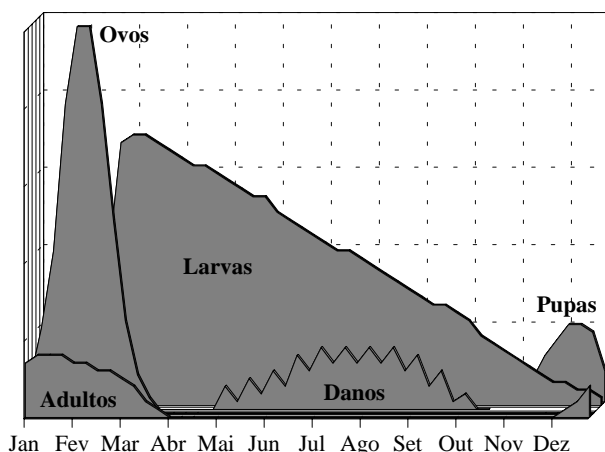


Figura 2. Ciclo biológico de *Diloboderus abderus* em lavouras sob plantio direto no RS (Gassen, 1989).

Alguns autores sugerem que a fêmea do corô-da-pastagem prefere fazer a oviposição em solo mais compactado ou duro, em áreas de pastagem (Figura 3) (Torres et al., 1976; Alvarado, 1979; Morey e Alzugaray, 1982). Outros indicam a soja como cultura preferida para a oviposição e o milho como alternativa de controle de *D. abderus* (Silva, 1992).

Estudos sobre os hábitos reprodutivos do inseto adulto evidenciam que a oviposição ocorre em função da presença de palha na superfície do solo para a elaboração do ninho (Gassen e Schneider, 1992). A influência atribuída às culturas de verão está, na realidade, associada ao manejo de palha na cultura anterior.

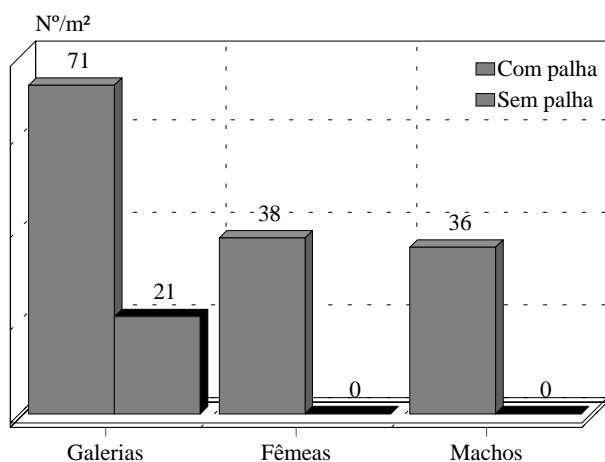


Figura 4. Efeito de palha na superfície do solo sobre a presença de galerias e de fêmeas e machos de *Diloboderus abderus* (Gassen e Schneider, 1992).

O inseto completa seu ciclo biológico em um ano (Figura 2), é univoltino. Os adultos nascem a partir de dezembro, realizam a postura com maior intensidade, quando o solo apresenta altos teores de umidade, em janeiro e fevereiro. Estiagens prolongadas no verão podem estender o período de postura até o início do outono. A fêmea adulta cava galerias, coleta palha, constrói o ninho e pode voar. A cópula ocorre dentro da galeria, pela união das partes posteriores dos adultos, com o macho posicionado na parte superior.

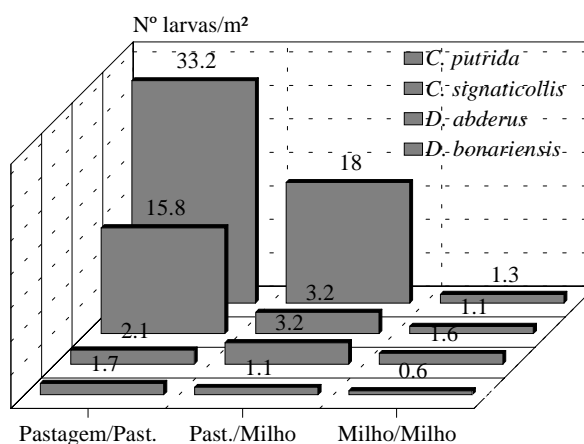


Figura 3. Populações de larvas de *Demodema bonariensis*, *Diloboderus abderus*, *Cyclocephala signaticollis* e *C. putrida* (Col., Melolonthidae), em diferentes sistemas de sucessão de culturas (pastagem contínua, milho após pastagem e milho após milho) (adaptado de Alvarado, 1979).

Em milho, semeado em setembro, sobre aveia ou leguminosas dessecadas, a superfície do solo encontra-se com a palha em adiantada decomposição quando as fêmeas iniciam a oviposição em janeiro. Essa palha decomposta é inadequada para a elaboração do ninho e a oviposição.

Em soja, semeada entre novembro e dezembro, sobre trigo ou cevada, existe palha em abundância na superfície do solo no início do verão, condição necessária para a oviposição e conseqüente ocorrência de danos causados por larvas no inverno. As lavouras sob plantio direto podem apresentar maior população desse inseto, em virtude da presença de palha.

A escolha do local para a oviposição é função da presença de palha adequada (preferência por palha de gramíneas) na superfície do solo (Figura 4) e independe da espécie de planta

cultivada na fase de postura ou do sistema de preparo de solo (Gassen e Schneider, 1992).

A fêmea transporta a palha para o interior da galeria e constrói «pastilhas» de palha com 1,0 cm de espessura e 1,8 cm de diâmetro. No centro dessa “pastilha” deposita um ovo protegido por uma câmara de barro endurecido. Até oito pastilhas com ovos foram encontrados na mesma galeria.

Durante o período de incubação, o ovo aumenta de volume 3,4 vezes o seu peso inicial (Figura 5). A incubação e o nascimento das larvas parece ser dependente de umidade no solo (Gassen e Schneider, 1992). Durante períodos de déficit hídrico as fêmeas não realizam postura e o tempo de incubação parece aumentar.



Figura 6. Galeria de *Diloboderus abderus*, com folhas de plantas para a alimentação.

Durante o primeiro e o segundo estádios as larvas podem ser encontradas em grupos, na mesma galeria. A larva de terceiro estádio constrói a própria galeria e vive solitária. Sobe à superfície do solo, durante a noite, para coletar palha e sementes e cortar plantas para o seu consumo (Figura 6).

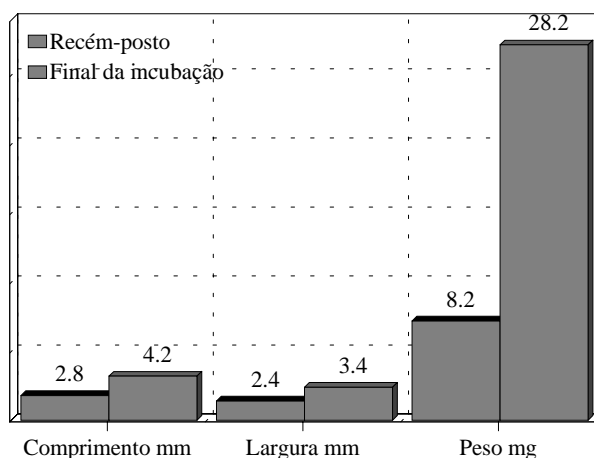


Figura 5. Tamanho e peso de ovos de *Diloboderus abderus* durante a incubação (Gassen e Schneider, 1992).

Um dia após a ocorrência de chuvas, que umedecem a terra até onde se localizam os insetos, estes reiniciam as atividades na superfície do solo e a oviposição. As fêmeas adultas saem das galerias logo após o escurecer e durante duas horas entram em intensa atividade de transporte de palha para oviposição ou para vôo de disseminação.

Os machos permanecem próximo à abertura da galeria, não participam do transporte de palha e muito raramente voam. Participam da cópula e da defesa da galeria onde se encontram as fêmeas. Das observações de campo, conclui-se que os prolongamentos duplos no pronoto e a expansão pontiaguda na cabeça do macho (Figura 1) funcionam como estrutura de defesa contra predadores (Gassen e Schneider, 1992). Os predadores mamíferos, ao cavarem nas galerias, podem ser feridos pela compressão dessas expansões e as aves podem ser repelidas pela aparência de dente de predador que a cabeça do macho simula na entrada da galeria ou entre restos culturais no solo.

A larva eclode após um período de uma a duas semanas de incubação dos ovos e passa por três estádios de desenvolvimento. Durante o primeiro estádio (2 a 3 semanas) e parte do segundo (4 a 6 semanas) a larva alimenta-se da palha (pastilha) que a fêmea adulta levou para dentro da galeria.

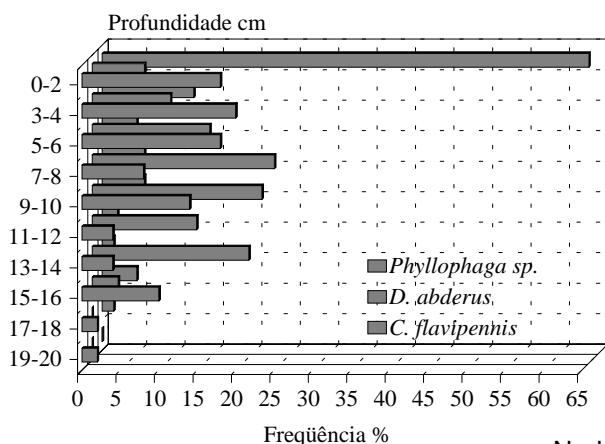


Figura 7. Relação entre a profundidade (cm) no perfil do solo e a frequência de larvas de *Diloboderus abderus*, de *Phyllophaga sp.* e de *Cyclocephala flavipennis*, coletadas em lavoura de soja, após a colheita, durante o mês de abril (Gassen, 1993a).

Na base da galeria constrói uma câmara para alimentação e depósito de excrementos, para onde se desloca com rapidez quando ocorre qualquer distúrbio no ambiente. A larva de terceiro estágio, aparentemente, busca plantas verdes durante períodos de seca e busca palha nos períodos de chuva e de excesso de umidade.

A disposição espacial das larvas em março-abril, em lavouras de resteva de soja, indica que elas encontram-se a uma profundidade média de 8,1 ± 0,9 cm (Figura 7). Nessa época a maioria (72 %) das larvas encontram-se no segundo estágio (Gassen, 1993a).

A partir do fim de maio as larvas passam para o terceiro estágio. Em setembro, em lavoura de trigo, a profundidade média das galerias é de 15,06 ± 0,63 cm (Figura 8) (Gassen, 1992a,b; Gassen e Corseuil, 1993). Em maio, 80 % das larvas encontravam-se até 10 cm de profundidade e em setembro, 82 % delas encontravam-se entre 8 e 20 cm.

Em trigo, as larvas encontram-se concentradas junto a fileira de plantas, com espaçamento entre linhas de 17 cm, 48,6 % delas na faixa de 4 cm sob as plantas (Figura 9).

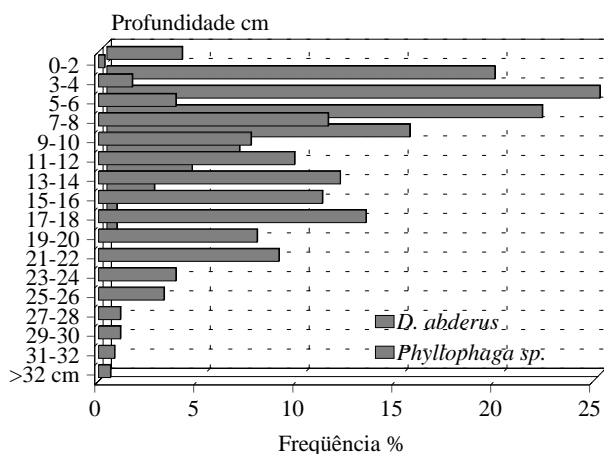
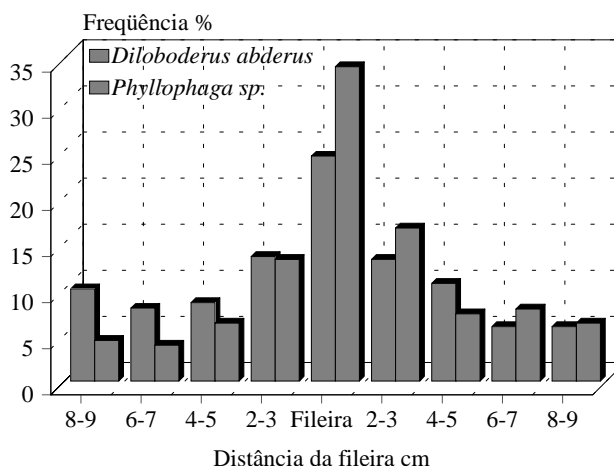


Figura 8. Relação entre a profundidade (cm) no perfil do solo e a frequência de larvas de *Diloboderus abderus* e de *Phyllophaga sp.* em lavouras de trigo sob plantio direto, em setembro (Gassen, 1992a,b).

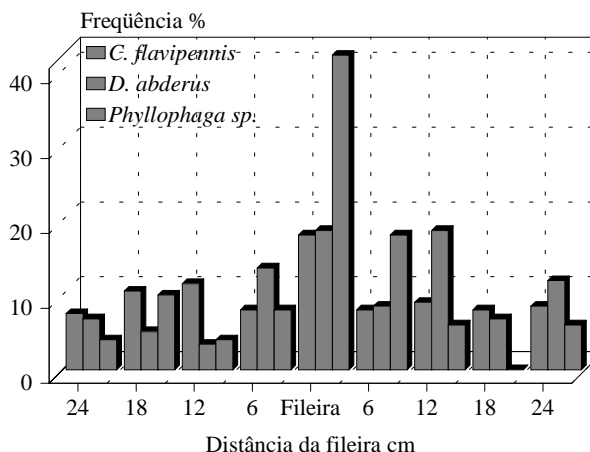
Figura 9. Relação entre a frequência de larvas de *Diloboderus abderus* e de *Phyllophaga sp.* e a distância da fileira de trigo, durante o mês de setembro (Gassen, 1992a,c).



Em soja, com espaçamento de 50 cm, 18,6 % das larvas encontravam-se na faixa de 5 cm sob a fileira de plantas de soja, equivalente a 2,3 vezes a densidade média da população de larvas existente entre as fileiras (Figura 10) (Gassen, 1993a)

A partir de meados de setembro, a larva passa pela fase de limpeza do sistema digestivo, quando cessa a alimentação, e inicia a fase de pré-pupa. Em novembro passa para a fase de pupa e no fim de dezembro eclodem os adultos (Figura 2).

Figura 10. Relação entre a frequência de larvas de *Diloboderus abderus*, de *Phyllophaga sp.* e de *Cyclocephala*



Danos

Os danos em plantas cultivadas são causados por larvas de terceiro estágio, principalmente, de junho a agosto. Em anos com inverno rigoroso e falta de alimento, o período de danos pode se estender até setembro ou início de outubro. Observações de campo evidenciam danos severos em manchas de lavouras, nas culturas de inverno (Costa, 1958; Gassen, 1984).

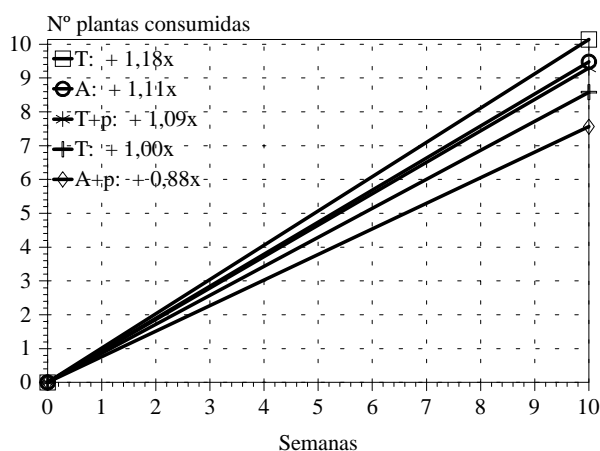
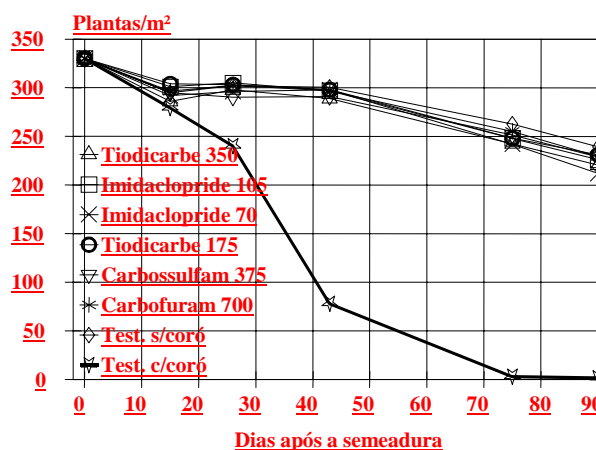


Figura 11. Consumo semanal de plantas de aveia (A) e de trigo (T), com e sem palha (p) na superfície do solo, por larvas de *Diloboderus abderus*, em diferentes experimentos em campo. (Gassen, 1993b).

Figura 12. Efeito de inseticidas e doses de ingrediente ativo por 100 kg de semente na proteção de plantas de trigo contra larvas de *Diloboderus abderus* (Gassen, 1993b).



a maior redução no número de plantas: $Y = 0,302x$ ($r^2 = 0,98$), equivalente a uma planta a cada 3,3 dias.

Em outro experimento, a capacidade de consumo de plantas de aveia, cultivar UPF 15, e de trigo, cultivar BR 35, foi determinada na presença e na ausência de palha de milho e de soja (6 t matéria seca/ha) na superfície do solo. Cada unidade experimental foi infestada com o equivalente a 18 larvas/m². Aos 76 dias após a semeadura, restavam entre 10 e 13 % das plantas de trigo e 34 e 46 % das plantas de aveia nas unidades sem e com palha, respectivamente.

O consumo de plantas de trigo sem palha na superfície do solo foi estimado pela equação de regressão $Y = 0,169x$ ($r^2 = 0,98$), e de trigo com palha na superfície pela equação $Y = 0,155x$ ($r^2 = 0,98$).

Na aveia sem palha o consumo de plantas foi estimado pela equação $Y = 0,158x$ ($r^2 = 0,96$), e na aveia com palha na superfície a equação foi $Y = 0,126x$ ($r^2 = 0,92$).

O consumo foi equivalente a uma planta de trigo no tratamento sem palha a cada 5,9 dias, uma planta de trigo com palha na superfície a cada 6,5 dias, uma planta de aveia sem palha a cada 6,3 dias e uma planta de aveia com palha na superfície do solo a cada 7,9 dias.

Os resultados desses experimentos indicam que quatro larvas do coró-da-pastagem/m² podem causar a morte de 24 a 32 plantas de aveia ou de trigo, num período de dois meses, correspondendo à redução de aproximadamente 10 % da população de plantas (Gassen, 1993b).

A abertura de galerias verticais é uma característica positiva da presença de larvas de corós, permitindo a infiltração de água, o crescimento de raízes e a incorporação de nutrientes (Gassen, 1993c).

Amostragem

Ao planejar o estudo de populações de insetos de solo, deve-se iniciar com unidades de amostra muito pequenas e aumentar o tamanho até o ponto em que o número de espécies e o número de indivíduos por unidade de área não se alteram significativamente, mesmo com unidades de tamanho muito maiores. Na amostragem de larvas de *D. abderus*, esse ponto de equilíbrio foi observado com unidades de amostra a partir de 20 cm x 40 cm (Figura 13) (Gassen, 1992a).

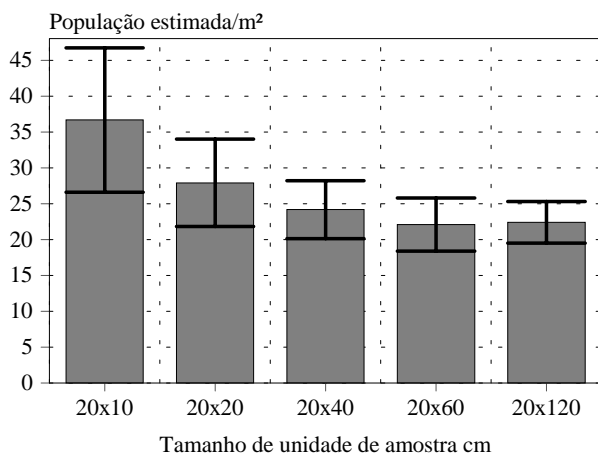


Figura 13. Estimativas de população de larvas de *Diloboderus abderus*, sob diferentes tamanhos de unidade de amostra (I.C. 95 %) (Gassen, 1992a,c).

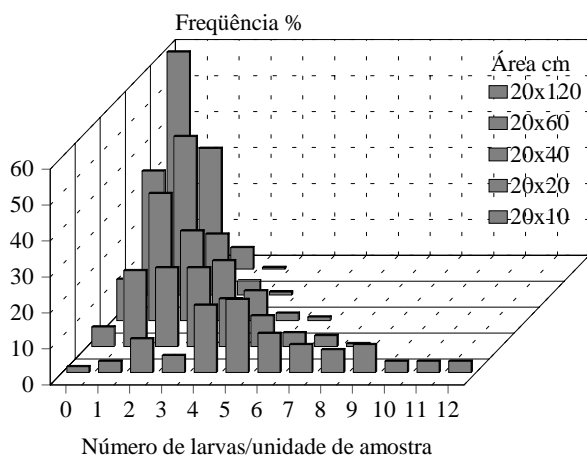
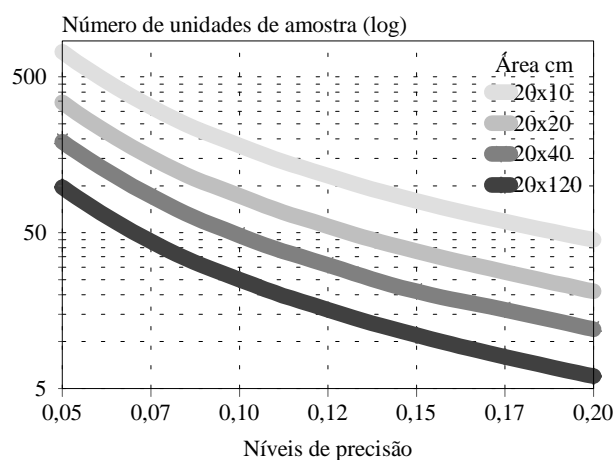


Figura 14. Relação entre a frequência (%) de larvas de *Diloboderus abderus* e diferentes tamanhos de unidades de amostra (área cm²) em lavoura de trigo sob plantio direto (Gassen e Corseuil, 1993).

Figura 15. Relação entre o número de unidades de amostra e o nível de precisão na amostragem de larvas de *Diloboderus abderus*, coletadas em lavoura de trigo sob plantio direto, para diferentes tamanhos de unidade de amostra (Gassen e Corseuil, 1993).



Com população média de 26 larvas/m², a amostragem com unidades de amostra pequenas (20 cm x 10 cm) resultou em 60 % delas sem insetos (Figura 14). Baseado nesse estudo, seria necessário ter 723 unidades de amostra para satisfazer um nível de precisão de 95 %. Para unidades de amostra maiores (20 cm x 120 cm) haveria necessidade de 98 amostras para satisfazer a mesma precisão (Figura 15) (Gassen e Corseuil, 1993). O volume de trabalho para atender a esse nível de precisão inviabiliza a amostragem.

Unidades de amostra com área em torno de 20 cm x 40 cm foram escolhidas como as mais práticas de ser tomadas para coleta de larvas do coró-da-pastagem em lavouras de trigo (Gassen e Corseuil, 1993). Amostras de tamanho menor demandam um número mais elevado de repetições e amostras de tamanho maior necessitam de mais tempo de mão-de-obra.

Inimigos naturais

Vários inimigos naturais nativos alimentam-se de ovos, de larvas e de adultos desse coró (Gassen, 1989, 1992c,d; Gassen e Jackson, 1992). Entre os predadores de adultos do coró-da-pastagem destacam-se aves noturnas, que atacam fêmeas durante o vôo de disseminação. Os adultos de *Selenophorus alternans* (Col., Carabidae) predam larvas (coró) pequenas e é a espécie de carábideo mais freqüente no agroecossistema do sul do Brasil.

Os adultos de *Megacephala* sp. (Col., Cicindelidae) são predadores vorazes de larvas de primeiro ínstar. As larvas desse predador, devido ao hábito de capturar suas presas em movimento na superfície do solo, provavelmente não são efetivas sobre o coró.

Outros predadores (Col., Staphylinidae) são encontrados nas galerias de corós, mas seus hábitos alimentares não foram determinados. Larvas-aramé (Col., Elateridae) foram encontradas predando corós.

Entre os parasitos, destaca-se *Campsomeris (Pygodasis) grupo quadrimaculata* (Hym., Scoliidae), que chega a parasitar 96 % das pré-pupas. Além das espécies encontradas nos levantamentos no Rio Grande do Sul, os parasitos *Prorhyncops* sp. e *Ptilidexia* sp. (Dip., Tachinidae) são citados na bibliografia.

Nematódeos do gênero *Mermis* (Mermithidae) foram encontrados em corós, em campos nativos.

Epizootias causadas por fungos, provavelmente, são a principal causa do colapso de populações do coró em lavouras. As principais espécies de fungos encontradas foram: *Cordyceps* sp., *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana*. A bactéria *Serratia marcescens* e protozoários também foram encontrados.

As galerias de corós e dos adultos são, também, habitadas por diplópodes, por quilópodes e por gastrópodes.

O ácaro *Caloglyphus berlesei* (Ast., Acaridae) ocorre sobre as pernas e articulações do coró. (Gassen, 1986). Na Argentina e no Uruguai, o ácaro forético *Macrocheles spinipes* encontra-se associado ao coró-da-pastagem (Krantz, 1998). Pouco se sabe da relação entre o ácaro e o hospedeiro.

Controle químico

Experimentos foram realizados com trigo, em campo (Gassen, 1993b), com os seguintes inseticidas e doses (g i.a./100 kg de semente): benfuracarbe 500, carbofuran 700, carbossulfam 375, imidaclopride 70 e 105 e tiodicarbe 175 e 350. As avaliações consistiram no número de plantas aos 19, aos 26, aos 43, aos 75 e aos 92 dias; na população de afilhos e de espigas aos 106 e aos 139 dias após a semeadura; e no rendimento de grãos. Todos os inseticidas, nas doses testadas, protegeram as plantas contra o dano da larva, propiciando formação de afilhos e de espigas e produção de grãos equivalentes às do tratamento sem larvas do coró-da-pastagem. Os resultados evidenciaram que o tratamento de sementes com os inseticidas e doses usados é alternativa eficiente contra o dano de larvas do coró-da-pastagem, mesmo em circunstâncias de níveis populacionais elevados.

O tratamento de semente de cereais de inverno ou de milho com inseticidas é uma alternativa eficaz de proteção de plantas, até mesmo em doses reduzidas dos produtos registrados (Alvarado et al., 1981; Silva, 1992; Gassen, 1993b) (Fig. 12).

A semeadura de leguminosas (ervilhaca ou tremço) ou de crucíferas (nabo-forrageiro ou canola) no inverno, cujos resíduos decompõem-se até janeiro, é uma estratégia que pode levar à redução da população de larvas no ano seguinte.

A ocorrência de corós em manchas de lavoura indica a necessidade de determinar a distribuição de larvas na lavoura e de adotar o controle apenas nas áreas onde provocam a perda expressiva em rendimento.

O custo de inseticidas para o tratamento de sementes de cereais de inverno é de aproximadamente US\$ 25,00 por hectare, em torno de três sacos de trigo.

Literatura citada

- ALVARADO, L. 1979. Comparacion poblacional de "gusanos blancos" (larvas de Coleopteros Scarabaeidae) en tres situaciones de manejo. INTA-Generalidades, n.16, p.1-5.
- BAUCKE, O. 1965. Notas taxonômicas e biológicas sobre *Diloboderus abderus* (Sturm, 1826) Coleoptera-Scarabaeidae-Dynastinae. Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária, n.7, p.113-135.
- COSTA, R.G. 1958. Alguns insetos e outros pequenos animais que danificam plantas cultivadas no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS. 296p.
- GASSEN, D.N. 1992a. Amostragem de insetos de solo no sistema plantio direto. **In:** Reunião de Planejamento de Metodologia de Pesquisa no Sistema Plantio Direto para os Países do Cone Sul, 1992, Passo Fundo, RS. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. 12p.
- _____. 1993a. Características de disposição espacial de larvas de *Diloboderus abderus*, de *Phytalus sanctipauli* e de *Cyclocephala flavipennis*, em soja. **In:** Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, 21., 1993, Passo Fundo. Soja; resultados de pesquisa 1992-1993. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. p.175-181.
- _____. 1993b. Controle de larvas do coró-da-pastagem, *Diloboderus abderus*, com inseticidas no tratamento de semente de trigo. **In:** Reunião Sul-Brasileira de Insetos de Solo, 4., 1993, Passo Fundo, RS. Anais. Passo Fundo: EMBRAPA/SEB. p.158-159.
- _____. 1993c. Corós associados ao sistema plantio direto. **In:** EMBRAPA-CNPT. FUNDACEP FECOTRIGO. Fundação ABC. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte. p.141-149.
- _____. 1993d. *Diloboderus abderus* (Coleoptera: Melolonthidae) in no-tillage farming in southern Brazil. **In:** Morón, M.A. ed. Diversidad y manejo de plagas subterráneas. Xalapa: Sociedad Mexicana de Entomologia e Instituto de Ecologia. p.129-141.
- _____. 1992b. Distribuição espacial de larvas de *Diloboderus abderus* e de *Phytalus sanctipauli* em lavouras de trigo. **In:** Reunião sobre Pragas Subterrâneas dos Países do Cone Sul, 2., 1992, Sete Lagoas. Anais. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS. p.173.
- _____. 1992c. Inimigos naturais de *Diloboderus abderus*, no sul do Brasil. **In:** Reunião sobre Pragas Subterrâneas dos Países do Cone Sul, 2., 1992, Sete Lagoas. Anais. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS. p.168.
- _____. 1984. Insetos associados à cultura do trigo no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. 39p. (EMBRAPA-CNPT. Circular Técnica, 3).
- _____. 1989. Insetos subterrâneos prejudiciais às culturas no sul do Brasil.. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. 49p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 13).
- _____. 1992d. Ocorrência de *Campsomeris (Pygodasis)* sp., parasito de larvas de *Diloboderus abderus*. **In:** Simpósio sobre Controle Biológico, 3., 1992, Águas de Lindóia. Anais. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPDA. p.234.
- _____. 1986. Parasitos, patógenos e predadores de insetos associados à cultura do trigo. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. 86p. (EMBRAPA-CNPT. Circular Técnica, 1).

- GASSEN, D. N.; CORSEUIL, E. 1993. Disposição espacial e amostragem de larvas de *Diloboderus abderus* (Col., Melolonthidae), em plantio direto de trigo. In: Congresso Brasileiro de Entomologia, 14, Piracicaba, SP. Resumo. Piracicaba: SEB, 1993. p.627.
- _____. JACKSON, T. 1992. Some aspects of scarabaeid pests and their pathogens in Southern Brazil. In: Jackson, T.A.; Glare, T.R. ed. Use of pathogens in scarab management. Andover, Hampshire: Intercept. p.281-285.
- _____. SCHNEIDER, S. 1992. Características morfológicas e hábitos reprodutivos de *Diloboderus abderus*. In: Reunião sobre Pragas Subterrâneas dos Países do Cone Sul, 2., 1992, Sete Lagoas, MG. Anais. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS. p.169.
- GUERRA, M.S.; LOECK, A.E.; RUDIGER, W.H. 1976. Levantamento das pragas de solo da região tritícola do Rio Grande do Sul. Divulgação agrônômica, n.40, p.1-5.
- KRANTZ, G.W. 1988. On the identity of six Berlese species of *Macrocheles* (Acari: Macrochelidae): descriptions, redescrptions, and new synonyms. Canadian Journal of Zoology, v.66, n.4, p.968-980.
- MOREY, C.S.; ALZUGARAY, R. 1982. Biología y comportamiento de *Diloboderus abderus* (Sturm) (Coleoptera: Scarabaeidae). Montevideo: Dirección de Sanidad Vegetal. 44p.
- SILVA, A.G.; GONÇALVES, C.R.; GALVÃO, D.M.; GONÇALVES, A.J.Z.; GOMES, J.; SILVA, M.N.; SIMONI, L. 1968. Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil; seus parasitos e predadores. Rio de Janeiro: Laboratório de Patologia Vegetal, p.2, t.2, 265p.
- SILVA, M.T.B. 1992. Manejo de insetos no plantio direto em Cruz Alta, Rio Grande do Sul. Congreso Interamericano de Siembra Directa. p.80-98.
- TORRES, C.; ALVARADO, L.; SENIGAGLIESI, C.; ROSSI, R.; TEJO, H. 1976. Oviposición de *Diloboderus abderus* Sturm en relación a la roturación del suelo. IDIA, p.124-125.



Dinámica de malezas

Análisis de los cambios en las comunidades de malezas asociados al sistema de labranza y al uso continuo de Glifosato

por Daniel Tuesca* y Eduardo Puricelli**

Introducción

El laboreo intensivo con implementos como arado de reja y vertedera y rastra de discos ha sido una práctica usual en la producción de cultivos. Sin dichas herramientas no hubiera sido posible controlar las malezas y obtener rendimientos adecuados (Phillips et al, 1980). Sin embargo, el laboreo ha causado numerosos efectos negativos tales como incremento de la erosión (Brock, 1982), reducción de la eficiencia en el uso del agua (Amor y Jong, 1983), y una incidencia creciente en los costos de mano de obra, maquinarias y combustibles (Epplin, Al – Sakkaf y Peeper, 1984).

A partir de 1930 se comenzaron a desarrollar en Inglaterra sistemas de labranza conservacionista para contrarrestar los efectos negativos asociados a los sistemas de laboreo convencional ya citados (Weber, Gebhardt y Kerr, 1987). Por definición un sistema conservacionista mantiene una capa de residuos superior al 30% sobre la superficie del suelo (Schertz, 1988) y comprende un conjunto de métodos de manejo que van desde el laboreo reducido o mínimo con arado de cincel hasta el no laboreo o siembra directa donde no hay disturbio del suelo excepto el producido por la siembra del cultivo. En este último caso, se genera una cobertura constituida por los residuos de los cultivos anteriores y de las malezas controladas por herbicidas antes de la siembra. Usualmente no se realizan otras labores mecánicas durante el ciclo del cultivo ya que las malezas se controlan con herbicidas mientras que los fertilizantes y enmiendas se aplican superficialmente o con mínima perturbación del suelo.

Inicialmente la adopción de sistemas conservacionistas fue escasa debido a la dificultad de eliminar la vegetación del suelo a través de métodos de control no mecánicos pero con el descubrimiento de los herbicidas totales como paraquat y diquat en la década del 50 y posteriormente de glifosato este proceso se aceleró (De Almeida, 1985).

En Argentina, las experiencias sobre sistemas conservacionistas se iniciaron en la década del 60 (Milatich, 1993) aunque los proyectos de investigación institucionales comenzaron en la EEA del INTA Marcos Juárez en 1974 (Marelli y Arce, 1989). En dichos ensayos se analizaron distintos sistemas de labranzas conservacionistas con énfasis en la siembra directa de soja sobre rastrojo de trigo y su incidencia sobre el rendimiento, propiedades del suelo y la erosión hídrica.

* Lic. Biol., Cátedra de Malezas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. (2123) Zavalla, Santa Fe, Argentina. E-mail: malezas@sinectis.com.ar

** Ing. Agr., MSc.

A partir de la década del 70 se incrementó notablemente la superficie destinada al cultivo de soja en detrimento de sistemas agrícola-ganaderos. Las prácticas asociadas al cultivo de soja produjeron una serie de efectos negativos sobre el agroecosistema. Entre éstos, el mayor laboreo del suelo (especialmente en los sistemas de doble cultivo de trigo-soja) y el aumento en el uso de herbicidas, constituyeron problemas desde el punto de vista económico y ambiental.

Como consecuencia de esto, en los últimos años la superficie en la cual se realiza siembra directa ha aumentado considerablemente (Figura 1 a y b), alcanzando en la campaña 1999/2000 el 37% de la superficie agrícola total (1).

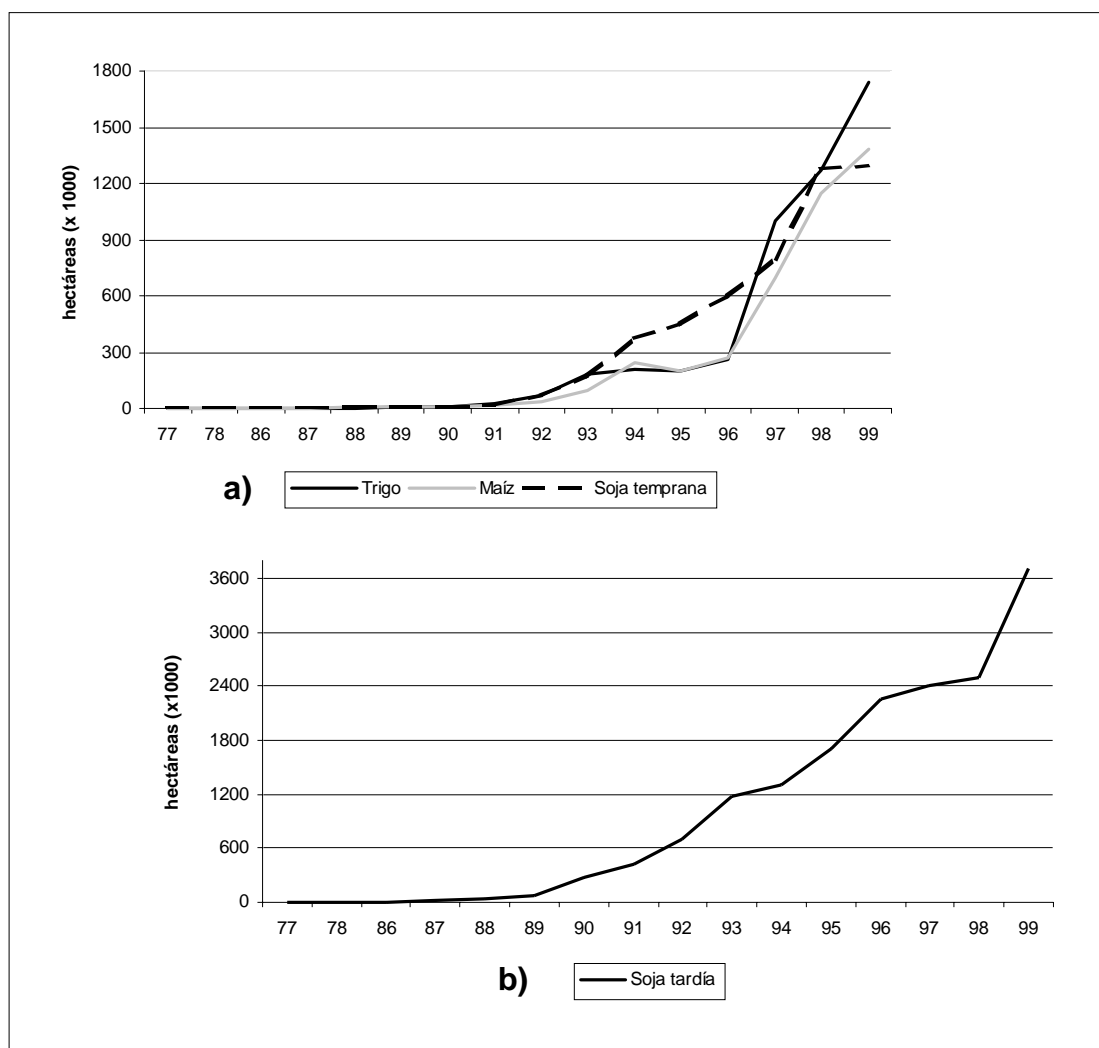


Figura 1. Evolución de la superficie en siembra directa de los principales cultivos en la Argentina.

Asimismo, otro cambio importante en el agroecosistema de nuestro país fue la introducción de cultivares de soja resistente a glifosato a partir del año 1997. Hasta ese momento los sistemas agrícolas convencionales y conservacionistas involucraban monoculturas de soja por varios años, rotaciones de dos o tres cultivos y el uso de distintos herbicidas. El uso continuo de glifosato puede generar cambios marcados en las prácticas de control de malezas que podrían traducirse en variaciones en la composición y abundancia de las mismas (Vitta et al, 1999 y Vitta et al, 2000).

En este trabajo se analizan los cambios en la comunidad de malezas asociados al sistema de labranza y al uso continuo de glifosato.

Aspectos ecológicos asociados al sistema de labranza

En un sistema de siembra directa continua la acumulación de residuos de cultivos y malezas forma una cubierta superficial que afecta parámetros edáficos e interfiere en la aplicación de herbicidas al suelo y en la incorporación de fertilizantes.

Existe una estrecha interrelación entre los efectos de la temperatura, humedad, luz e impedancia edáficas sobre la germinación y desarrollo de las plántulas de cultivos y malezas.

Temperatura del suelo

La cobertura orgánica propia de los sistemas de siembra directa altera la composición lumínica en la superficie del suelo ya que la radiación de onda larga es interceptada por los residuos y como consecuencia de esto la temperatura debajo de la cobertura decrece (Coote y Malcolm-McGovern, 1989; Teasdale, 1993). El grado y duración de la reducción de temperatura depende de la latitud y el clima (Sprague y Triplett, 1985) y de la calidad y cantidad del residuo en superficie (Gauer, Shaykervich y Stobbe, 1982; Gupta, Larson y Allmaras, 1984).

Los sistemas conservacionistas retrasan la germinación de algunas malezas a través de la reducción en las temperaturas máximas. Sin embargo, con niveles normales de residuo es mucho menor el efecto sobre las temperaturas mínimas. Las modificaciones en las poblaciones de malezas pueden asociarse con las diferencias en cuanto a requerimiento de temperaturas base para iniciar el proceso germinativo (Wiese y Binning, 1987).

Asimismo, los sistemas conservacionistas reducen la alternancia térmica a nivel del suelo y pueden disminuir la incidencia de malezas como *Sorghum halepense* (sorgo de Alepo) cuyas semillas sólo pierden la dormición cuando ocurren períodos alternados de temperatura (Benech et al, 1988; Chancellor, 1982).

Humedad

La conservación de agua en el suelo es a menudo citada como una de las mayores ventajas del sistema de laboreo reducido (Phillips et al, 1980). En siembra directa, a la reducción de temperatura anteriormente descrita se corresponde una menor evaporación de agua del suelo (Gilley y Kottwitz, 1994; Shinnery, Nelson y Wang, 1994). Esta es una de las razones por las que en los terrenos protegidos por coberturas muertas las variaciones en el contenido de humedad son menos acentuadas (Sprague y Triplett, 1985).

En siembra directa, la velocidad del agua de escurrimiento superficial es menor que en sistemas convencionales debido al obstáculo que constituyen los residuos (Karlen et al, 1994; Waggoner y Denton, 1992). De esto resulta un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo lo que a menudo favorece la infiltración (Triplett, Van Doren y Schmidt, 1968).

La germinación de semillas de cultivos y malezas es afectada tanto por la magnitud como por las fluctuaciones en la humedad del suelo. Una reducción en la disponibilidad de agua puede provocar un establecimiento desuniforme del cultivo creando ambientes heterogéneos que permiten la germinación de malezas (Anaele y Bishnoi, 1992).

Luz

La luz es un factor que ejerce un efecto importante sobre el proceso de germinación (Chancellor, 1982; Smith, 1973; Taylorson, 1987). En las especies cuya germinación depende de la percepción del estímulo lumínico, la germinación se inhibe cuando la relación rojo/rojo lejano es baja y en consecuencia el fitocromo se encuentra en su forma inactiva (Ballaré et al, 1988; Karsen, 1980; Scopel, Ballaré y Radosevich, 1994).

En sistemas laboreados, las semillas que son enterradas por la preparación del suelo se mantienen dormidas y al ser traídas a la superficie y expuestas a la luz inician el proceso de germinación. En cambio, en sistemas conservacionistas existe un alto grado de variación en la cantidad de luz que llega a la superficie del suelo por efecto de los residuos de cosecha (Teasdale y Mohler, 1993). En los sitios con abundante cobertura se han observado disminuciones en la cantidad de luz que llega al suelo y como consecuencia de esto menores poblaciones de ciertas malezas. Dicho potencial de control de malezas por el rastrojo del cultivo antecesor es máximo poco tiempo después de la siembra del cultivo siguiente (Curran, Hoffman y Werner, 1994; Schilling, Liebl y Worsham, 1984; Thilsted y Murray, 1980).

Estructura del suelo

El mejoramiento en la estructura del suelo que en muchos casos ocurre en siembra directa se debe a un mayor contenido de materia orgánica, a una mayor actividad de lombrices que aumentan los canales y macroporos (Barnes y Ellis, 1979; Carter, 1994; Ehlers, 1975), y un incremento de los canales de las raíces (Francis y Knight, 1993), todo lo cual favorece la capacidad de infiltración cuando se considera todo el perfil del suelo (Klute, 1982; Triplett, Van Doren y Schmidt, 1968).

Sin embargo, si se analiza la estructura en los primeros centímetros del perfil la densidad en siembra directa en comparación con labranza convencional muestra resultados variables en distintos estudios (Coote y Malcolm-McGovern, 1989; Ismail, Blevins y Frye, 1994). La falta de disturbio periódico del suelo puede en ciertos casos provocar compactación superficial debido al aumento de la densidad global y a la reducción del espacio poroso por disminución del volumen de macroporos en los primeros centímetros del suelo.

La compactación superficial del suelo afecta la probabilidad de que una semilla enterrada produzca una plántula. La emergencia de plántulas de *Polygonum convolvulus* (enredadera anual) en suelos muy compactados se reduce a menos del 1% (San Román y Fernández, 1991). La menor emergencia de plántulas en suelos con compactación superficial puede deberse a una reducción en el flujo de gases hacia las semillas o a un impedimento físico. Esto último es la explicación más probable ya que suele observarse que grupos de plántulas son capaces de emerger a través de dicha capa densa de suelo más fácilmente que individuos aislados (Harper, 1977).

Cambios en la flora de malezas

La introducción de nuevas técnicas de labranzas puede provocar cambios cuali y cuantitativos en la flora de malezas de los sistemas bajo cultivo (Ball y Miller, 1993; Benech Arnold et al, 1988; Cussans, 1975; Defelice, Witt y Martín, 1987; Froud Williams, Drennan y Chancellor, 1981b; Froud Williams, Chancellor y Drennan, 1981a; Froud Williams, Chancellor y Drennan, 1983; Pollard y Cussans, 1981; Puricelli y Tiesca, 1997).

Se han clasificado las malezas de acuerdo a su respuesta a la labranza en especies que aumentan o disminuyen su densidad con el laboreo y especies que muestran una respuesta inconsistente (Pollard y Cussans, 1981).

La labranza afecta la distribución vertical de las semillas de malezas en el suelo (Froud Williams, Chancellor y Drennan, 1983; Roberts, 1963; Wicks y Somerhalder, 1971). ya que entierra una proporción de éstas lo que a su vez modifica la germinación y aumenta la longevidad (Roberts, 1964; Van Esso, Ghera y Soriano, 1985).

A partir de los resultados de un estudio realizado en el período 1991-1999 en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario, discutiremos el comportamiento de las principales malezas con relación a la labranza y al uso de herbicidas. En dicho estudio se establecieron los siguientes tratamientos de labranza en tres secuencias de cultivos:

- Rotación trigo/soja: se compara labranza convencional con labranza mínima en trigo y labranza convencional con siembra directa en soja.
- Rotación soja-maíz: se compara labranza convencional con siembra directa en ambos cultivos.
- Monocultura de soja: se compara labranza convencional con siembra directa.

Las rotaciones a) y b) se iniciaron en 1991 mientras que la monocultura de soja se inició en 1997.

En cada secuencia se utiliza un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Las parcelas son de 15 por 20 m. Se realizan censos de las malezas presentes en cada cultivo entre la siembra y la aplicación del herbicida y al final del ciclo del cultivo evaluando cobertura y densidad. Desde el inicio del ensayo se evaluó en cada cultivo y en los barbechos la cantidad de residuo en superficie (Cuadro 1).

Cuadro 1. Niveles de residuo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en siembra directa al comienzo del ciclo del cultivo en soja en la rotación T/S y en soja y maíz en la rotación M-S.

Año	Rotación	
	T/S	M-S
1992/93	1430 a	1230 (M) a
1993/94	1590 a	2060 (S) b
1994/95	2580 b	2120 (M) b
1995/96	3470 c	3970 (S) c
1996/97	3560 c	3480 (M) c
1997/98	3540 c	3560 (S) c
1998/99	3425 c	3340 (M) c
1999/00	3320 c	3520 (S) c

(M) maíz (S) soja

Para cada rotación, las medias seguidas de letras distintas difieren significativamente, según la prueba de LSD ($P=0.05$) y se refieren a cambios entre años.

El manejo de las malezas hasta 1997 se realizó en base a las prácticas comunes de los productores de la zona que han consistido en control mecánico y químico en los cultivos de verano y control químico ocasional en trigo. El control químico y mecánico varía de acuerdo al sistema de labranza, la composición y densidad de las malezas presentes. A partir de 1997 se continuó este ensayo con las características hasta ahora descritas. Las únicas modificaciones consistieron en la incorporación de cultivos de soja y maíz transgénicos tolerantes a glifosato en las rotaciones. El único herbicida que se utiliza en los cultivos de soja y maíz es glifosato en presiembra y postemergencia en siembra directa y en postemergencia en siembra convencional. En el cultivo de trigo no se aplican herbicidas.

En la siguiente sección se discuten los resultados de este estudio en relación al efecto de la labranza sobre las malezas.

Desde 1997 a la fecha se considera además el efecto sobre las malezas del uso exclusivo de glifosato. Los resultados se analizan considerando a las malezas según grupos funcionales.

Latifoliadas anuales

En general, el laboreo intensivo en rotaciones de cultivos aumenta la frecuencia de malezas latifoliadas anuales (Staniforth y Wiese, 1985). Así, la densidad de este grupo de malezas fue menor en el sistema de siembra directa que en labranza convencional en las rotaciones trigo/soja y maíz-soja (Figura 2 a y b).

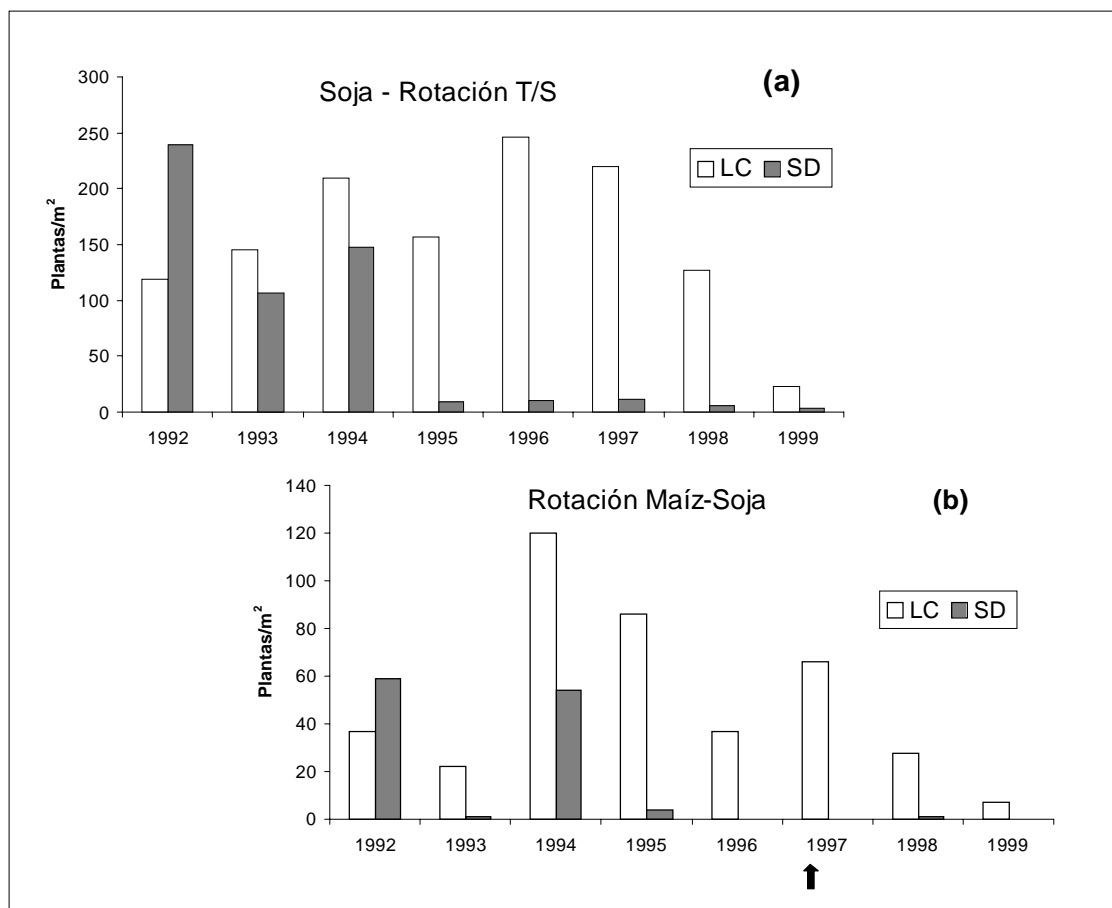


Figura 2: Evolución de las poblaciones de malezas latifoliadas anuales. a) Soja en la rotación trigo/soja, v b) rotación maíz-soja. La flecha indica el año de inicio de aplicación continua y exclusiva de glifosato. LC: labranza convencional, SD: siembra directa.

Se han sugerido diversas explicaciones para este fenómeno. La reducción de malezas latifoliadas anuales en siembra directa puede atribuirse a menores fluctuaciones térmicas o a la menor tasa de germinación por las menores temperaturas que ocurren en sistemas sin remoción del suelo. Por otra parte, la mayor cantidad de residuo en superficie reduce la transmisión de luz hacia el suelo impidiendo la germinación de muchas malezas latifoliadas fotoblásticas positivas. Otras posibles causas son el incremento de artrópodos en los sistemas de siembra directa que se alimentan selectivamente de semillas de malezas de latifoliadas y en mucho menor grado de gramíneas anuales (Brust, 1994) y en los posibles efectos alelopáticos del residuo hacia las latifoliadas anuales (Putnam, 1990). Existe una relación inversa entre niveles crecientes de residuo de trigo y la biomasa de las malezas latifoliadas anuales en un cultivo de soja (Puricelli et al, 1995b).

En sistemas laboreados se presenta una combinación de efectos que incluyen entierro y desentierro de semillas y prácticas de manejo cuyo resultado final es, en general, un

incremento de las poblaciones de malezas latifoliadas anuales. A continuación se comentan resultados obtenidos para especies de este grupo.

Una de las malezas más frecuentes y abundantes en la región pampeana es *Portulaca oleracea* (verdolaga) que ha sido observada con mayor densidad en sistemas laboreados (Figura 3). Esto puede atribuirse a que la germinación de esta especie se ve favorecida por altos niveles de luz y temperatura (Vengris, Dunn y Stacewicz – Sapuncakis, 1972), condiciones asociadas a sistemas convencionales.

En estos sistemas, *Anoda cristata* (malva cimarrona) también encuentra condiciones favorables para su desarrollo. Así, en un cultivo de soja esta especie estuvo presente sólo en siembra convencional y en siembra directa en ausencia de residuos en superficie, lo que fue asociado a las mayores temperaturas a nivel del suelo detectadas al comienzo del ciclo (Puricelli et al, 1995b). La germinación de esta especie no es afectada por la luz pero sí por la temperatura y puede aumentar significativamente cuando la temperatura se eleva (Solano, Schrader y Coble, 1976).

Chenopodium album (quínoa) es otra especie que mostró menor germinación en siembra directa en soja. Esta especie posee requerimientos de luz para germinar. Se han observado infestaciones mayores de quínoa en labranza convencional con respecto a

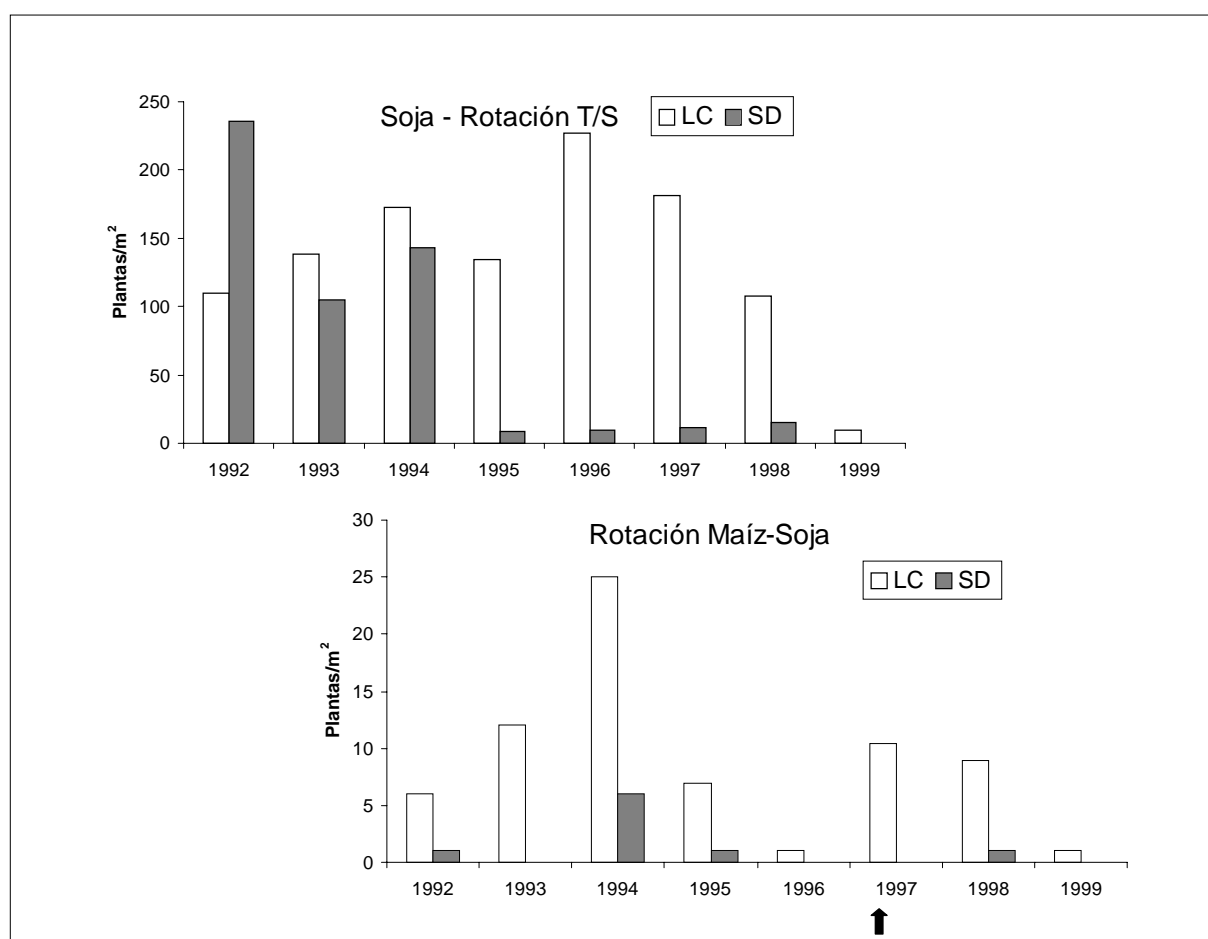


Figura 3: Evolución de la población de *Portulaca oleracea* (verdolaga) en el cultivo de soja en la rotación trigo/soja. La flecha indica el año de inicio de aplicación continua y exclusiva de glifosato. LC: labranza convencional, SD: siembra directa.

siembra directa en soja proveniente de trigo y en maíz proveniente de soja (Figura 4). El hecho de que el establecimiento de quínoa no sea nulo en siembra directa aún con altos niveles de residuo es probablemente debido a la existencia de microsítios con alta penetración de luz (Teasdale, 1993).

Amaranthus spp. mostró un comportamiento inconsistente respecto al sistema de labranza. En nuestro estudio, la densidad de esta especie fue independiente del sistema de labranza en maíz proveniente de soja y mayor en labranza convencional comparada con siembra directa en soja proveniente de trigo. Asimismo, se encontraron menores

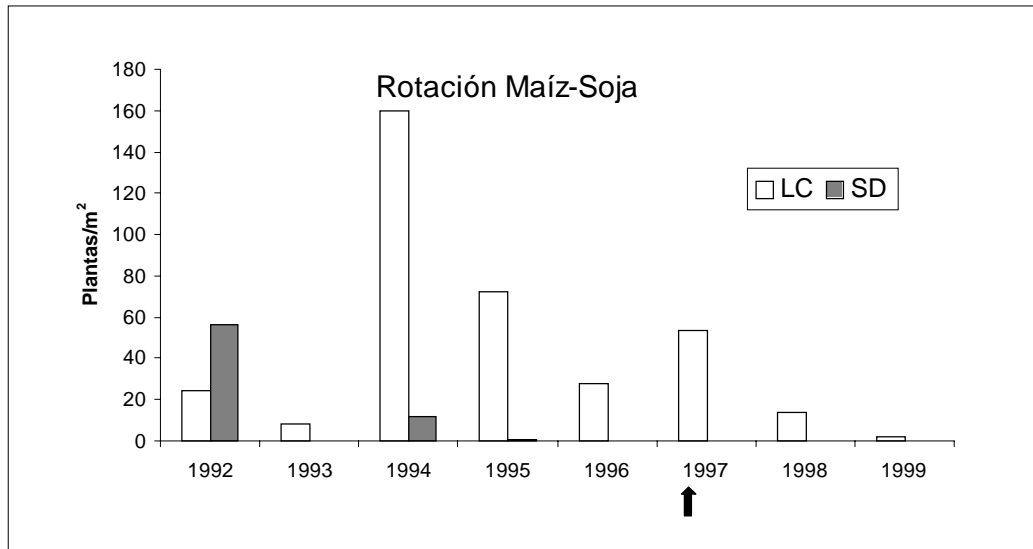


Figura 4: Evolución de la población de *Chenopodium album* (quínoa) en el cultivo de soja en la rotación trigo/soja. La flecha indica el año de inicio de aplicación continua y exclusiva de glifosato. LC: labranza convencional, SD: siembra directa.

poblaciones de *Amaranthus* spp. en soja en parcelas con residuo de trigo en comparación con parcelas sin residuos (Thilsted y Murray, 1980). Sin embargo, *A. retroflexus* mostró mayor o igual emergencia en siembra directa comparada con labranza convencional en rotaciones que incluían trigo (Blackshaw et al, 1994) y en un cultivo de maíz lo que fue atribuido al mayor entierro y mortalidad de semillas en el sistema laboreado.

Datura ferox (chamico) estuvo asociada casi exclusivamente a la labranza convencional en todas las rotaciones en los cultivos de soja y maíz (Figura 5 a y b). Esta especie posee semillas que dependen de entierros y desentierros sucesivos para la ruptura de la dormición mientras que mantenidas en la superficie no germinan. Así, puede concluirse que el laboreo es una de las condiciones necesarias para la perpetuación de esta especie (Soriano, Eilberg y Suero, 1971; Soriano, Sánchez y Eilberg, 1964).

La estrategia de dispersión de las especies de malezas parece ser importante para explicar la abundancia de las mismas en los distintos sistemas de labranza. Dentro de las especies latifoliadas aquellas que poseen dispersión anemófila muestran un comportamiento consistente en todas las rotaciones ya que son más numerosas en sistemas conservacionistas.

Dentro de este grupo, la densidad de *Sonchus oleraceus* (cerraja) fue mayor en siembra directa con relación a un sistema convencional en la rotación trigo/soja (Figura 6). Asimismo, en otros estudios, las poblaciones de *Sonchus oleraceus* se incrementaron rápidamente con el uso de labranzas conservacionistas. En la secuencia soja-soja la densidad de este grupo de especies fue mayor en siembra directa con respecto a siembra convencional.

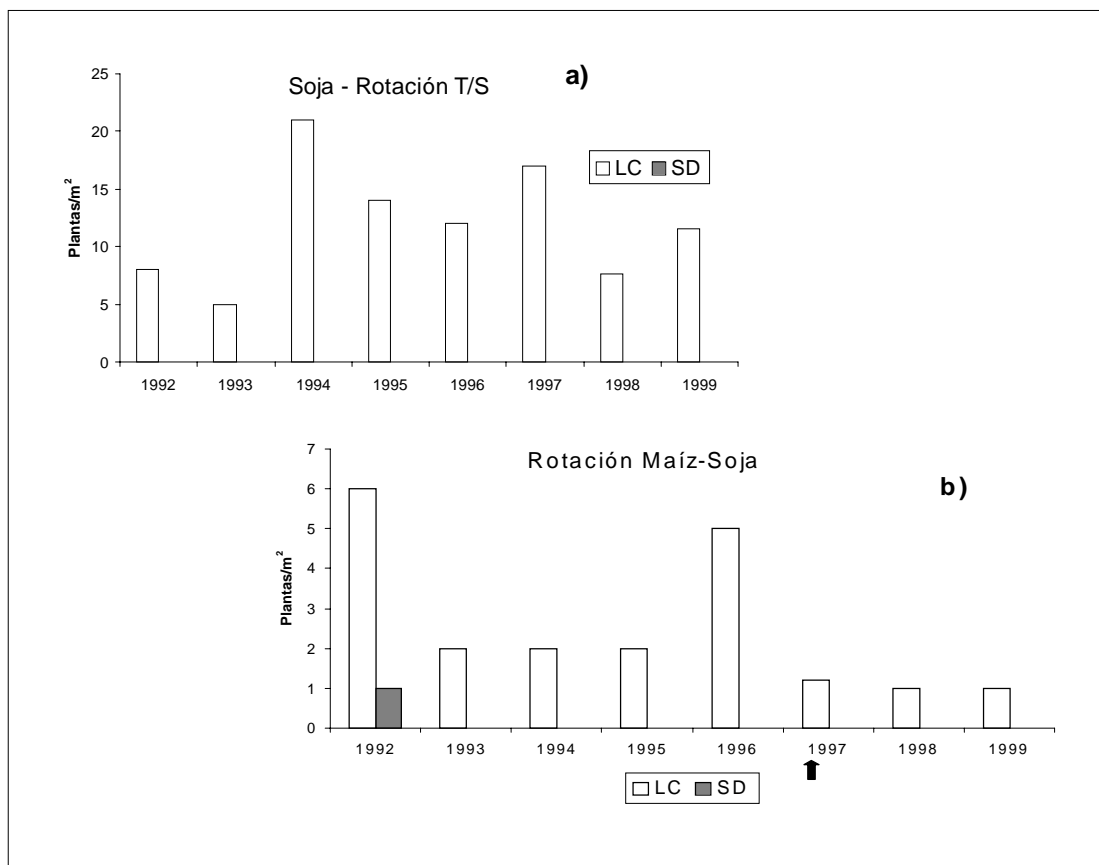


Figura 5: Evolución de la población de *Datura ferox* (chamico) a) Soja en la rotación trigo/soja, v b) rotación maíz-soja. La flecha indica el año de inicio de aplicación continua y exclusiva de glifosato. LC: labranza convencional, SD: siembra directa.

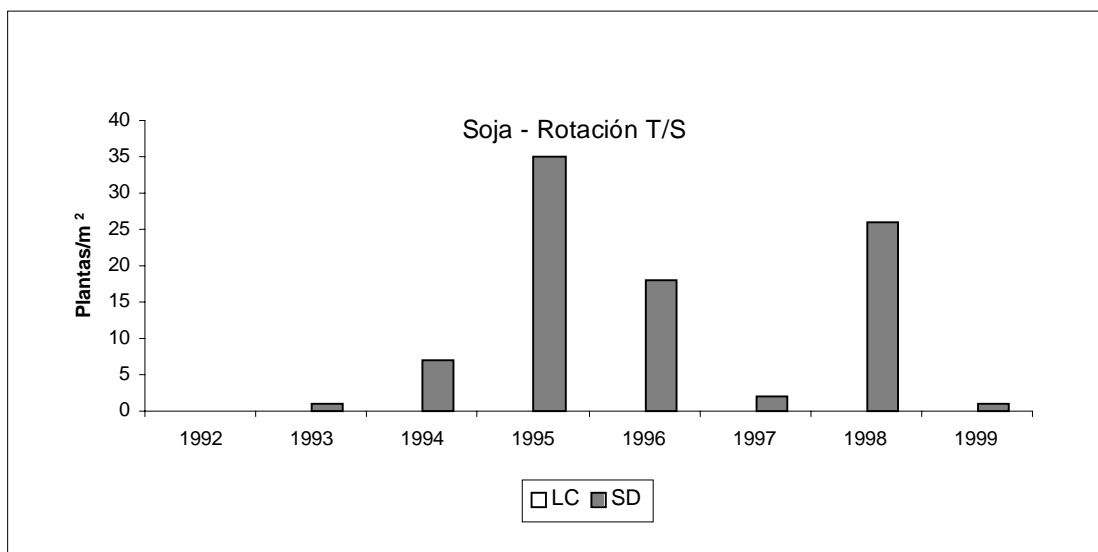


Figura 6: Evolución de la población de *Sonchus oleraceus* (cerraja) en el cultivo de soja en la rotación trigo/soja. La flecha indica el año de inicio de aplicación continua y exclusiva de glifosato. LC: labranza convencional, SD: siembra directa.

La mayor abundancia de *Carduus acanthoides* (cardo chileno) en sistemas de siembra directa (Figura 7) puede atribuirse tanto a la presencia de barreras de vegetación constituidas por los residuos de cultivo que detienen el movimiento de los aquenios cerca del sitio donde se generaron (Derksen et al, 1994) como así también al hecho de que estas especies poseen un banco de semillas pequeño y de baja persistencia en el suelo (Feldman y Lewis, 1990).

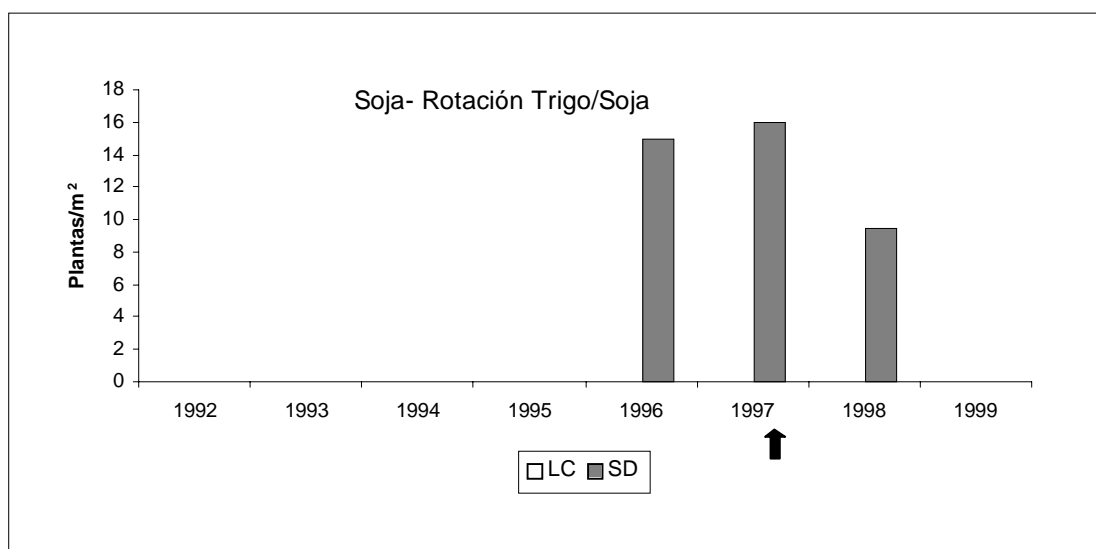


Figura 7: Evolución de la población de *Carduus acanthoides* (cardo chileno) en el cultivo de soja en la rotación trigo/soja. La flecha indica el año de inicio de aplicación continua y exclusiva de glifosato. LC: labranza convencional, SD: siembra directa.

Se ha indicado que aún utilizando los mismos herbicidas con igual eficiencia de control en siembra directa y convencional ciertas especies con dispersión por el viento son más abundantes en siembra directa. En consecuencia las diferencias se deben a que la ausencia de labranza incrementa la presencia de sitios seguros para la germinación y establecimiento (Derksen et al, 1994). Por otro lado el residuo en siembra directa provee nichos para la regeneración de cardo chileno (Feldman, Vesprini y Lewis, 1994).

Gramíneas anuales

Las gramíneas anuales son, en general, favorecidas por los sistemas conservacionistas en comparación con sistemas con alto disturbio del suelo (Hurle, 1993; Staniforth y Wiese, 1985) y se han constituido en uno de los principales problemas para los productores pampeanos que adoptan estos sistemas de labranza.

En cultivos de verano las gramíneas anuales constituyen uno de los grupos de malezas más conspicuos en ausencia de laboreo. Así, se observó mayor densidad de *Digitaria sanguinalis* (pasto cuaresma) en siembra directa en comparación con labranza convencional en la rotación soja/maíz (Figura 8).

El residuo en superficie puede incrementar la emergencia y crecimiento de este grupo de malezas proveyendo de sitios seguros para la germinación cuando la semilla está

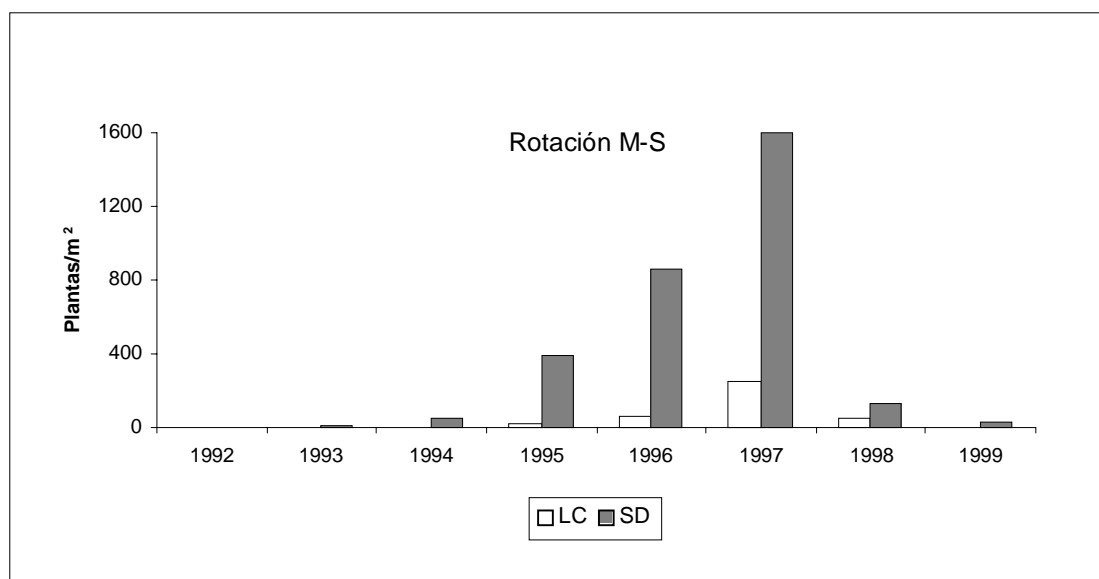


Figura 8: Evolución de la población de *Digitaria sanguinalis* (pasto cuaresma) en el cultivo de soja en la rotación maíz-soja. La flecha indica el año de inicio de aplicación continua y exclusiva de glifosato. LC: labranza convencional, SD: siembra directa.

sobre la superficie del suelo (Mester y Buhler, 1991). Un ejemplo de esto lo constituye *Setaria faberi* en Estados Unidos que presentó una densidad ocho veces mayor en siembra directa con respecto a parcelas laboreadas convencionalmente (Mester y Buhler, 1991). La rotación también puede influir sobre el número de plántulas emergidas de esta especie (Schreiber, 1992). En labranza convencional la densidad de la maleza fue baja en todas las rotaciones, mientras que en siembra directa se encontró mayor abundancia en las rotaciones maíz/soja y en la monocultura de maíz e igual abundancia en las rotaciones que incluían trigo debido a la presencia de residuo con probable efecto alelopático.

Los sistemas de laboreo influyen sustancialmente sobre la profundidad de emergencia de las gramíneas anuales. Se ha encontrado que en siembra directa la mayoría de las plántulas de *Setaria* spp. emergieron desde profundidades iguales o menores a 2 cm, mientras que en los otros sistemas (arado de reja y vertedera y arado de cincel) las profundidades de emergencia fueron mayores. En ausencia de laboreo el residuo crea condiciones de mayor humedad favorables para la germinación de las semillas en superficie.

La capacidad de las radículas de las gramíneas anuales para establecerse en sistemas conservacionistas puede ser una importante razón para explicar la mayor abundancia de muchas especies de este grupo en los diferentes sistemas de labranza (Buhler y Oplinger, 1990). Los altos niveles de residuo en siembra directa mantienen humedad en la superficie del suelo y protegen a las plántulas en emergencia. Las especies gramíneas anuales que se establecen a partir de semilla en la superficie del suelo prosperan bajo estas condiciones (Mester y Buhler, 1991). Basándose en la falta de adaptación al disturbio y la baja longevidad de las semillas de las gramíneas anuales se ha sugerido que este grupo de malezas no constituiría un problema importante en el largo plazo si se realizan labranzas periódicas (Hurle, 1993).

Malezas perennes

Las malezas perennes son un problema importante en todos los sistemas de labranza (Moyer et al, 1994) aunque su manejo es de especial interés en sistemas conservacionistas (Staniforth y Wiese, 1985). En una revisión sobre el progreso de las labranzas conservacionistas en Estados Unidos (Gebhardt et al, 1985) se afirma que las malezas perennes son particularmente problemáticas luego de 2 a 3 años de reducción o ausencia de laboreo obligando a los productores a retornar a la labranza convencional o a algún tipo de laboreo secundario para controlar malezas. El mantenimiento de sistemas de no laboreo por largos períodos con control químico favorece el desarrollo de ciertas geófitas que sobreviven a los períodos desfavorables como yemas subterráneas a expensas de terófitas que sobreviven como semillas (Worsham y Lewis, 1985). Así, en cultivos de verano se determinó mayor abundancia de *Sorghum halepense* (sorgo de Alepo) en siembra directa comparada con labranza convencional (Sanford, Myhre y Merwine, 1973).

En otros casos, el disturbio del suelo puede incrementar la densidad de este grupo de malezas debido a la dispersión de propágulos por trozado de las partes subterráneas (Thomas y Frick, 1993; Wallace y Bellinder, 1992). Así, en un trabajo donde se relevó la flora de una extensa zona agrícola se detectó mayor abundancia de malezas perennes en labranza convencional que en sistemas conservacionistas (Frick y Thomas, 1992). Ciertas malezas latifoliadas perennes como *Cyperus esculentus* fueron más abundantes en laboreo convencional, lo que puede atribuirse a los requerimientos de fragmentación. En el caso particular de *Cyperus esculentus*, el laboreo es la principal causa de dispersión ya que los órganos subterráneos al ser fragmentados y llevados desde zonas de alta densidad a zonas donde crecen aislados están sometidos a menor competencia intraespecífica, lo que a su vez incrementa la producción de nuevos propágulos subterráneos (Schippers et al, 1993).

Cynodon dactylon (gramón) se favorece por el laboreo ya que la fragmentación de rizomas induce a la brotación de la mayoría de las yemas (Fernández y Bedmar, 1992; Kigel y Koller, 1985). Sin embargo, la maleza puede ser un problema en campos con pasturas manejados con siembra directa (Martino, 1994) debido a la imposibilidad de realizar controles mecánicos para facilitar la desecación de la maleza (Phillips y Moaisi, 1993).

Asimismo, otra explicación de la disminución de malezas perennes en sistemas de siembra directa es el generalizado uso de glifosato que puede dañar seriamente la recuperación de este grupo de malezas (Kapusta y Krauz, 1993).

De lo expuesto surge que las poblaciones de malezas perennes pueden tanto aumentar o disminuir en sistemas de siembra directa. Existen autores que consideran que es necesario contar con más elementos para interpretar la respuesta de este grupo de malezas en sistemas conservacionistas (Derksen et al, 1994).

Efecto del uso continuo de Glifosato

La composición y abundancia de las malezas puede variar por la introducción de cultivos resistentes a glifosato. Estas variaciones pueden producirse por selección de malezas tolerantes o resistentes al herbicida o de especies con un período de emergencia prolongado y tardío (Vitta et al, 1999). En este último caso esta selección se manifiesta debido a que el glifosato es un herbicida que actúa por vía foliar sin acción residual en el suelo no controlando flujos posteriores de emergencia. Además, las poblaciones de malezas sometidas a aplicaciones continuas de este herbicida pueden presentar distinto comportamiento con el sistema de labranza o con la rotación de cultivo utilizada.

Previo a la introducción de los cultivos resistentes a glifosato nuestro ensayo se basó en el uso de herbicidas postemergentes que lograron controles variables de las malezas. A partir de 1997, se utilizó como único herbicida al glifosato que fue muy efectivo para controlar todos los grupos de malezas de verano en ambos sistemas de labranza y en todas las rotaciones. Como consecuencia de esto, la densidad de todos los grupos de malezas disminuyó notablemente aunque ninguna de las especies fue eliminada totalmente del sistema.

En los períodos invernales entre cultivos, algunas especies poco frecuentes previo al uso continuo de glifosato aumentaron notablemente su densidad. La mayoría de estas especies no tolera la remoción del suelo por lo cual su incremento se verificó sólo en las parcelas no laboreadas. Este es el caso de *Parietaria debilis* (yuyito de la pared) y *Viola arvensis* (violeta silvestre). También se observó que las plantas de mayor tamaño de *Lamium amplexicaule* (ortiga mansa), *Bowlesia incana* (perejilillo) y *Anagallis arvensis* (nomeolvides) sobrevivieron a aplicaciones de glifosato (Figura 9 a y b). Algunas de estas especies se consideran tolerantes a glifosato ya que no son controladas con las dosis habituales de uso del herbicida.

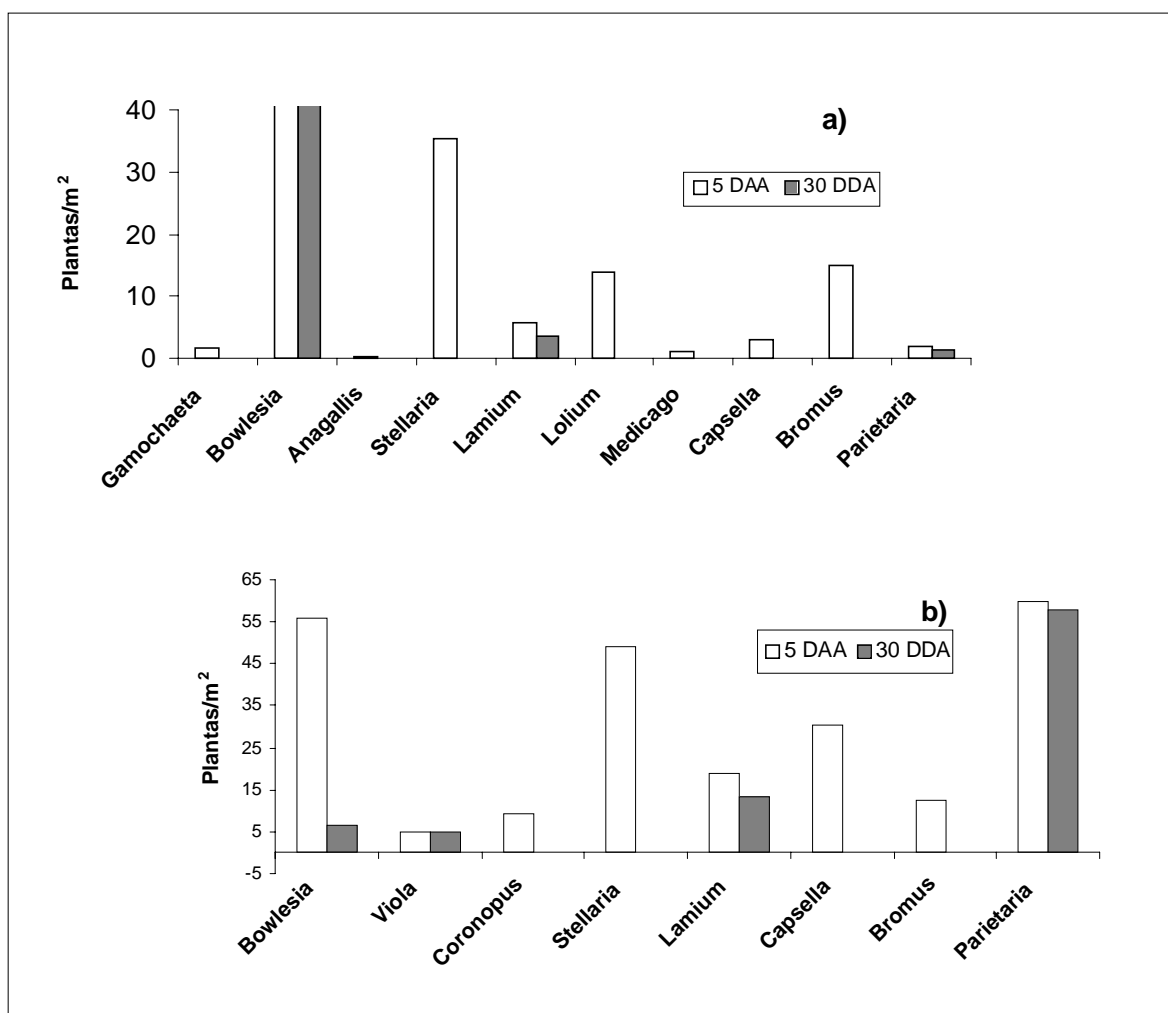


Figura 9: Densidad de malezas en siembra directa antes y después de la aplicación de glifosato (1250 g ia.ha⁻¹) en el período sin cultivo invernal, a) rotación soja-soja, y b) rotación maíz-soja.

Solanum chacoense (papa salvaje) se puede considerar una especie de brotación tardía con respecto al cultivo de soja. Esta característica puede explicar la ausencia de control de la maleza por el glifosato en nuestro ensayo en la rotación trigo/soja.

En trigo la comunidad de malezas fue similar a la presente en períodos sin cultivo invernales. Sin embargo, no se han observado ejemplares de *Parietaria debilis* o *Viola arvensis* probablemente debido a la baja competitividad de estas especies respecto al cultivo (Figura 10).

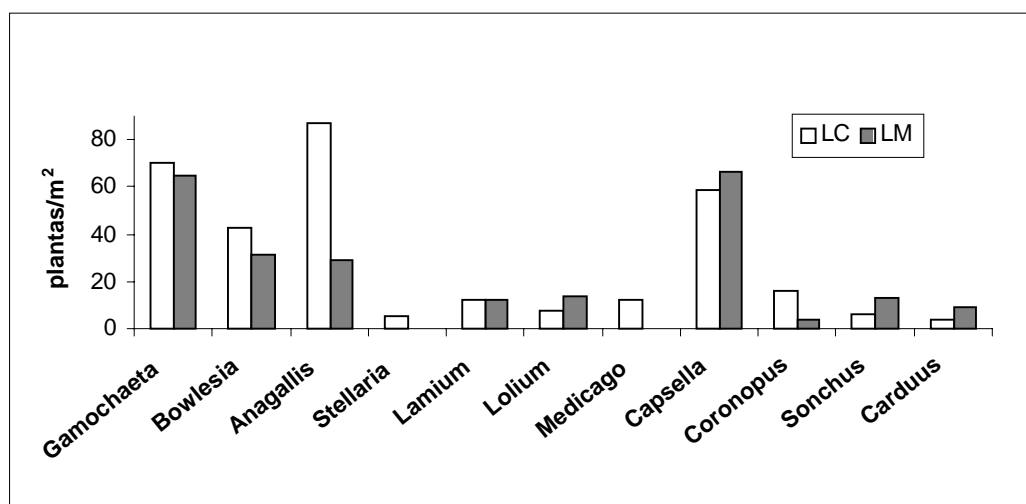


Figura 10: Densidad de malezas en trigo en la rotación trigo/soja. LC: labranza convencional, LM: labranza mínima.

Conclusiones y perspectivas

La siembra directa continua conduce, en la mayoría de los casos considerados, a una reducción en la abundancia de numerosas malezas latifoliadas anuales en el largo plazo. La excepción son las especies transportadas por el viento. Las poblaciones de gramíneas anuales, en cambio, resultan más abundantes en sistemas de siembra directa que en los sistemas de laboreo convencional.

Los factores ambientales citados para explicar los cambios en la flora de malezas en los distintos sistemas de labranza son fundamentalmente la humedad y la temperatura edáfica, la radiación incidente sobre el suelo y el grado de compactación del mismo.

La siembra directa facilita la acumulación de residuos de cosecha modificando la comunidad de malezas a través de alteraciones en los factores ambientales analizados y cambios en el comportamiento de los herbicidas aplicados al suelo. Los cambios en las comunidades de malezas mostraron una respuesta a menudo dependiente del grado de disturbio del suelo aunque, por otro lado, raramente independiente de los herbicidas y la rotación de cultivos.

Así, la introducción de cultivares de soja resistentes a glifosato y el aumento en el uso de este herbicida ha modificado la comunidad de malezas. Estos cambios están relacionados con la reducción de la densidad de las malezas comunes en la zona y con el aumento, en los períodos invernales sin cultivo, de poblaciones de malezas poco competitivas, tolerantes al glifosato y escasas antes del uso masivo del herbicida.

Asimismo, la abundancia de las malezas puede verse afectada por los cultivos que integran las rotaciones. La variación en la fecha de siembra, el arreglo espacial y la producción de biomasa de cada cultivo modifican la emergencia y desarrollo de las malezas.

A pesar de las predicciones existentes en la bibliografía sobre los cambios cuali y cuantitativos en las especies de malezas frente a modificaciones en el sistema de laboreo es difícil extraer conclusiones ya que estos cambios muchas veces están influenciados por las condiciones de manejo de cada sitio en un momento determinado.

Literatura citada

- AAPRESID, 2000. Gacetilla informativa de la Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa. Año 11, nº 53.
- AMOR, R.L. and DE JONG, R. 1983. Changing weed problems in cereal cropping in Victoria since 1920. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 139-147.
- ANAELE, A.O. and BISHNOI, U.R. 1992. Effects of tillage, weed control method and row spacing on soybean yield and certain soil properties. *Soil & Tillage Research* 23: 333-340.
- BALL, D.A. and MILLER, S.D. 1993. Cropping history, tillage and herbicide effects on weed flora composition in irrigated corn. *Agronomy Journal* 85: 817-821.
- BALLARÉ, C.L.; SCOPEL, A.L.; GHERSA, C.H. and SÁNCHEZ, R.A. 1988. The fate of *Datura ferox* seeds in the soil as affected by cultivation, depth of burial and degree of maturity. *Annals of Applied Biology* 112: 337-345.
- BARNES, B.T. and ELLIS, F.B. 1979. Effects of different methods of cultivation and direct drilling, and disposal of straw residues, on populations of earthworms. *Journal of Soil Science* 30: 669-679.
- BAZZAZ, F.A. 1983. Characteristics of populations in relation to disturbance in natural and man-modified ecosystems. **In:** *Disturbance and Ecosystems*. H.A. Mooney & M. Gordon, Ed Springer-Verlag, Nueva York: 259-275.
- BENECH ARNOLD, R.A.; GHERSA, C.M.; SÁNCHEZ, R.A. and GARCÍA FERNÁNDEZ, A.E. 1988. The role of fluctuating temperatures in the germination and establishment of *Sorghum halepense* (L.) Pers.. Regulation of germination under leaf canopies. *Functional Ecology* 2: 311-318.
- BLACKSHAW, R.E.; LARNEY, F.O.; LINDWALL, C.W. and KOZUB, G.C. 1994. Crop rotation and tillage effects on weed populations on the semi-arid Canadian prairies. *Weed Technology* 8(2): 231-237.
- BROCK, B.J. 1982. Weed control versus soil erosion control. *Journal of Soil and Water Conservation* 37: 73-76.
- BRUST, G.E. 1994. Seed-predators reduce broadleaf weed growth and competitive ability. *Agricultural Ecosystems and Environments* 48: 27-34.
- BUHLER, D.D. and OPLINGER, E.S. 1990. Influence of tillage systems on annual weed densities on control in solid-seeded soybean (*Glycine max*) *Weed Science* 38: 158-165.
- _____ and DANIEL, T.C. 1988. Influence of tillage systems on giant foxtail and velvetleaf density and control in corn. *Weed Science* 36: 642-647.
- CARTER, M.R. 1994. A review of conservation tillage strategies for humid temperate regions. *Soil & Tillage Research* 31: 289-301.

- CHANCELLOR, R.J. 1982. Dormancy in weed seeds. *Outlook on Agriculture* 11(2): 87-93.
- _____ and FROUD WILLIAMS, R.J. 1986. Weed problems of the next decade in Britain *Crop Protection* 5(1): 66-72.
- COOTE, D.R. and MALCOLM-MCGOVERN, C.A. 1989. Effects of conventional and no-till corn growth in rotation on three soils in eastern Ontario, Canada. *Soil & Tillage Research* 14: 67-84.
- CURRAN, W.S.; HOFFMAN, L.D. and WERNER, E.L. 1994. The influence of a hairy vetch (*Vicia villosa*) cover crop on weed control (*Zea mays*) growth and yield. *Weed Technology* 8: 777-784.
- CUSSANS, G.W. 1975. Weed control in reduced cultivation and direct-drilling systems. *Outlook on Agriculture* 8: 240-242.
- DE ALMEIDA, F. 1985. Plantio Direto. In: Guia de Herbicidas: Contribuição para o Uso Adequado em Plantio Direto e Convencional, IAPAR. Londrina (Paraná) Brasil. 468 pp.
- DEFELICE, M.S.; WITT, W. and MARTIN, J. 1987. Johnsongrass (*Sorghum halepense*) control and soil moisture relationships in no-tillage, doublecropped soybeans (*Glycine max*) *Weed Science* 38: 108-114.
- DERKSEN, D.A.; THOMAS, A.G.; LAFOND, G.F.; LOEPPKY, H.A. and SWANTON, C.L. 1994. Impact of agronomic practices on weed communities: Fallow within tillage systems.. *Weed Science* 42: 184-194.
- EHLERS, W. 1975. Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Science* 119: 242-249.
- EPPLIN, F.M.; AL-SAKKAF, G.A. and PEEPER, T.F. 1994. Impacts of alternative tillage methods for continuous wheat on grain yield and economics: Implications for conservation compliance. *Journal of Soil and Water Conservation* 49: (4) 394-399
- FELDMAN, S.R. and LEWIS, J.P. 1990. Output and dispersal of propagules of *Carduus acanthoides*. *Weed Research* 30: 161-169.
- _____; VESPRINI, J.L. and LEWIS, J.P. 1994. Survival and establishment of *Carduus acanthoides* L. *Weed Research* 34: 265-273.
- FERNÁNDEZ, O. y BEDMAR, F. 1992. Fundamentos para el manejo integrado de gramón. Boletín Técnico n° 105. EEA INTA Balcarce. 26 pp.
- FRANCIS, G.S. and KNIGHT, T.L. 1993. Long-term effects of conventional and no-tillage on selected soil properties and crop yields in Canterbury, New Zealand. *Soil & Tillage Research* 26: 193-210.
- FRICK, B. and THOMAS, A.G. 1992. Weed surveys in different tillage systems in southwestern Ontario field crops. *Canadian Journal of Plant Science* 72: 1337-1347
- FROUD-WILLIAMS, R.J.; DRENNAN, D.S.H. and CHANCELLOR, R.J. 1981b. Influence of cultivation regime on weed floras of arable cropping systems. *Journal of Applied Ecology* 20: 187-197.
- _____; CHANCELLOR, R.J. and DRENNAN, D.S.H. 1981a. Potential changes in weed flora associated with reduced-cultivation systems in cereal production in temperate regions. *Weed Research* 21: 99-109.
- _____; CHANCELLOR, R.J. and DRENNAN, D.S.H. 1983. Influence of cultivation regime upon buried weed seeds in arable cropping systems. *Journal of Applied Ecology* 20: 199-208.
- GAUER, E.; SHAYKEWICH, C.F. and STOBBE, E.H. 1982. Soil temperature and soil water under zero tillage in Manitoba. *Canadian Journal of Soil Science* 62: 311-325.

- GEBHARDT, M.R.; DANIEL, T.C.; SCHWEIZER, E.E. and ALLMARAS, R.R. 1985. Conservation Tillage. *Science* 230: 625-630.
- GILLEY, J.E. and KOTTWITZ, E.R. 1994. Maximum surface storage provided by crop residue. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 120(2): 440-449.
- GUPTA, S.C.; LARSON, W.E. and ALLMARAS, R.R. 1984. Predicting soil temperature and soil heat flux under different tillage-surface residue conditions. *Soil Science Society of America Journal* 48: 223-232.
- HARPER, J.L. 1977. *Population Biology of Plants*. Cap. 5. Academic Press, New York.
- HURLE, K. 1993. Integrated management of grass weeds in arable crops. Brighton Crop Protection Conference, Weeds. Proceedings of an International Conference Brighton, UK, 1: 81-88. British Crop Prot. Council (BCPC), Farnham, UK.
- ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L. and FRYE, W.W. 1994. Long term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Science Society of America Journal* 58: 193-198.
- KAPUSTA, G. and KRAUZ, R.F. 1993. Weed control and yield are equal in conventional, reduced, and no-tillage soybean (*Glycine max*) after 11 years. *Weed Technology* 7: 443-451.
- KARLEN, D.L.; WOLLENHAUPT, N.C.; ERBACH, D.C.; BERRY, E.C.; SWAN, J.B.; EASH, N.S. and JORDAHL, J.L. 1994. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil & Tillage Research* 31: 149-167.
- KARSEN, C.M. 1980. Environmental conditions and endogenous mechanisms involved in secondary dormancy of seeds. *Israel Journal of Botany* 29: 45-65.
- KIGEL, J. and KOLLER, D. 1985. Asexual reproduction of weeds. In: *Weed Physiology*. SO Duke, Ed. Volume 1. Chapter 3. CRC Press. Florida.
- KLUTE, A. 1982. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: A review. In: *Predicting Tillage Effects on Soil Properties and Processes*. PW Unger *et al*, Eds. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Special Publication N° 44, Madison, W.I.: 29-43.
- MARELLI, M.G. y ARCE, J.M. 1989. Siembra directa de soja sobre trigo. Resúmenes 4a. Conferencia Mundial de Investigación en soja. II: 604-614.
- MARTINO, D.L. 1994. *Agricultura Sostenible y Siembra Directa*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) Uruguay. Serie Técnica N° 50, 31 p.
- MESTER, T.C. and BUHLER, D.D. 1991. Effects of soil temperature, seed depth, and cyanazine on giant foxtail (*Setaria faberi*) and velvetleaf (*Abutilon theoprasiti*) seedling development. *Weed Science* 39: 204-209.
- MILATICH, N. 1993. El cultivo de la soja en siembra directa. II Congreso Nacional de Siembra Directa. Huerta Grande, Córdoba. Argentina: 187-198.
- MOYER, J.R.; ROSMAN, E.S.; LINDWALL, C.W. and BLACKSHAW, R.E. 1994. Weed management in conservation tillage systems for wheat production in North and South America. *Crop Protection*. 13(4): 243-259.
- PHILLIPS, M.C. and MOAISI, K. 1993. Distribution of the rhizomes and roots of *Cynodon dactylon* in the soil profile and effect of depth of burial on regrowth of rhizome fragments. Brighton Crop Protection Conference Weeds. Proceedings of an International Conference Brighton, UK, 3: 1167-1170. British Crop Protection Council (BCPC), Farnham, UK.
- PHILLIPS, R.E.; BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; FRYE, W.W. and PHILLIPS, S.H. 1980. No-Tillage Agriculture. *Science* 208: 1108-1113.

- POLLARD, F. and CUSSANS, G.W. 1981. The influence of tillage on the weed flora in a succession of winter cereal crops on a sandy loam soil. *Weed Research* 21: 185-190.
- PURICELLI, E. y TUESCA, D. 1997. Análisis de los cambios en las comunidades de malezas en sistemas de siembra directa y sus factores determinantes. *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Plata.* 102(1):97-117.
- _____; TUESCA, D.; BONEL, B.; MONTICO, S.; SARANDÓN, S. y SARANDÓN, R. 1995b. Efecto del residuo de trigo, la labranza y el control químico sobre las malezas en soja tardía. XX Congresso Brasileiro da Ciencia das Plantas Daninhas. Florianópolis, Brasil.
- PUTNAM, A.R. 1990. Vegetable weed control with minimal herbicide inputs. *HortScience* 25: 165-169.
- ROBERTS, H.A. 1963. Studies on the weeds of vegetable crops: III Effect of different primary cultivations on the weed seeds in the soil. *Journal of Applied Ecology* 51: 83-95.
- _____. 1964. Emergence and longevity in cultivated soil of seeds of some annual weeds. *Weed Research* 4: 296-307.
- SAN ROMÁN, E. y FERNÁNDEZ, O. 1991. Incidencia de la compactación del suelo en la emergencia de plántulas de *Polygonum convolvulus* (L) Resúmenes XII Reunión Argentina sobre la Maleza y su Control, ASAM. Mar del Plata: 1:18.
- SANFORD, J.O.; MYHRE, D.L. and MERWINE, N.C. 1973. Double cropping systems involving no-tillage and conventional tillage. *Agronomy Journal* 65: 978-982.
- SCHERTZ, D.L. 1988. Conservation tillage: An analysis of acreage projections in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation* 43: 256-258.
- SCHIPPERS, P.; TER BORG, S.J.; VAN GROENENDAEL, J.M. and HABEKOTTE, B. 1993. What makes *Cyperus esculentus* (yellow nutsedge) an invasive species?. A spatial model approach. Brighton Crop Protection Conference. Weeds. Proceedings of an International Conference Brighton, UK, 2: 495-504. British Crop Protection Council (BCPC), Farnham, UK.
- SCHREIBER, M.M. 1992. Influence of tillage, crop rotation, and weed management on giant foxtail (*Setaria faberi*) population dynamics and corn yield. *Weed Science* 40: 645-653.
- SCOPEL, A.L., BALLARÉ, C.L. and RADOSEVICH, S.R. 1994. Photostimulation of seed germination during soil tillage. *New Phytologist* 126: 145-152.
- SHILLING, D.G., LIEBL, R.A. and WORSHAM, A.D. 1984. Rye (*Secale cereale* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) mulch. The suppression of certain broadleaf weeds in the isolation and identification of phytotoxins. 243-247. In: A.C. Thomson, Ed. *The Chemistry of Allelopathy. Biochemical.* Washington, D.C.
- SHINNERS, K.J., NELSON, W.S. and WANG, R. 1994. Effects of residue-free band width on soil, temperature and water content. *Transactions of the ASAE.* 37(1): 39-49.
- SMITH, H. 1973. Light quality and germination: ecological implications. In: *Seed Ecology.* W. Heydecker, Ed. The Pennsylvania State University Press. University Park, PA.
- SOLANO, F., SCHRADER, J.W. and COBLE, H.D. 1976. Germination growth and development of spurred anoda. *Weed Science* 24: 574-578.
- SORIANO, A., EILBERG, B.A. and SUERO, A. 1971. Effects of burial and changes in the soil on seeds of *Datura ferox* L.. *Weed Research* 11: 196-199.
- _____; SÁNCHEZ, R.J. and EILBERG, B.A. 1964. Factors and processes in the germination of *Datura ferox* L.. *Weed Research* 11: 196-199.

- SPRAGUE, M.A. AND TRIPLETT, G.B. 1985. Tillage management for a permanent agriculture. **In:** No tillage and surface tillage agriculture. the tillage revolution. Sprague, M.A. and G.B. Triplett, Eds. John Wiley and Sons. Chapter 15. 476 pp.
- STANIFORTH, D.W. and WIESE, A.F. 1985. Weed biology and its relationship to weed control in limited-tillage systems. **In:** Weed Control in Limited Tillage Systems. Monograph. Series of the Weed Science Society. N° 2. Chapter 2.
- TAYLORSON, R.B. 1987. Environmental and chemical manipulation of weed dormancy. *Weed Science* 3: 135-154.
- TEASDALE, J.R. 1993. Interaction of light, soil moisture, and temperature with weed suppression by hairy vetch residue. *Weed Science* 41: 46-51.
- _____ and MOHLER, C.L. 1993. Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agronomy Journal* 85: 673-680.
- THILSTED, E. and MURRAY, D.S. 1980. Effect of wheat straw on weed control in no-till soybeans. *Proceedings of the Southern Weed Science Society* 33: 42.
- THOMAS, A.G. and FRICK, B. 1993. Influence of tillage systems on weed abundance in southwestern Ontario. *Weed Technology* 7: 699-705.
- THOMAS, G.W., GUDELJ, V., GUDELJ, O. y AYUB, G. 1994. Características de suelos bajo varios sistemas de labranza y pastura. *Información para Extensión* n° 10. EEA INTA Marcos Juárez. PAC
- TRIPLETT, G.B. JR., VAN DOREN JR., D.M. and SCHMIDT, B.L. 1968. Effect of corn (*Zea mays* L.) stover mulch on no-tillage corn yield and water infiltration. *Agronomy Journal* 60: 236-239.
- VAN ESSO, M.L., GHERSA, C.M. and SORIANO, A. 1985. Cultivation effects on the dynamics of a Johnsongrass seed population in the soil profile. *Soil & Tillage Research* 6: 325-335.
- VENGRIS, J., DUNN, S. and STACEWICZ-SAPUNCAKIS, M. 1972. Life history studies as related to weed control in the northeast. 7- Common purslane. Agricultural Experimental Station, College of Food and Natural Resources. The University of Massachusetts. *Research Bulletin* 598. 44 p.
- VITTA, J., FACCINI, D., NISENSOHN, L., PURICELLI, E., TUESCA, D. y LEGUIZAMÓN, E. 1999. Las Malezas en la Región Sojera Núcleo Argentina: Situación Actual y Perspectivas". Editora: Dow AgroSciences. Buenos Aires. 47 p.
- _____, TUESCA, D., PURICELLI, E., NISENSOHN, L., FACCINI, D. y FERRARI, G. 2000. Consideraciones acerca del manejo de malezas en cultivares de soja resistentes a glifosato. UNR Editora, 15 p.
- WAGGER, M.G. and DENTON, H.P. 1992. Crop and tillage rotations: Grain yield, residue cover, and soil water. *Soil Science Society of America Journal* 56(4): 1233-1237.
- WALLACE, R.W. and BELLINDER, R.R. 1992. Alternative tillage and herbicide options for successful weed control in vegetables. *HortScience* 27(7): 745-749.
- WEBER, C.L., GEBHARDT, M.R. and KERR, H.D. 1987. Effect of tillage on soybean growth and seed production. *Agronomy Journal* 79: 952-956.
- WICKS, G.A. and SOMERHALDER, B.R. 1971. Effects of seedbed preparation for corn on distribution of weed seed. *Weed Science* 19: 666-668.
- WIESE, A.M. and BINNING, L.K. 1987. Calculating the threshold temperature of development for weeds. *Weed Science* 35: 177-179.
- WORSHAM, A.D. and LEWIS, W.M. (1985) Weed management: key to no-tillage crop production. **In:** WL Hargrove, FC Boswell and GW Langdall, Eds. *Proceedings of the Southern Region No-till Conference*: 177-188.

Ecologia das plantas daninhas no sistema de plantio direto

por Robinson Antonio Pitelli* e Julio Cezar Durigan**

Introdução

A comunidade de plantas superiores que se mantém espontaneamente em áreas agrícolas e pecuárias é composta de um conjunto de espécies com características pioneiras, ou seja, plantas que ocupam locais em que a vegetação natural foi extinta e o solo ficou total ou parcialmente exposto. No passado, este tipo de vegetação ocorria de forma fortuita e temporária, evoluindo sempre que houvesse uma área despojada da vegetação natural e desaparecendo tão logo a vegetação original fosse re-estabelecida. As plantas pioneiras foram muito importantes na recuperação de extensas áreas de vegetação após a desglaciação do pleistoceno (Pitelli, 1990).

A atividade humana, desde o princípio, permitiu a perpetuação das plantas com características pioneiras, pois o homem sempre disponibilizou nichos, criando e mantendo habitats adequados ao crescimento e desenvolvimento deste tipo de vegetação, que acompanhou o homem na ampliação de sua área de distribuição geográfica. A partir desta vegetação, o homem desenvolveu a maioria de suas espécies cultivadas e estabeleceu a base para sua atividade agropecuária. As outras espécies pioneiras não domesticadas que se mantiveram habitando estas áreas passaram a ocasionar uma série de entraves ao desenvolvimento da agropecuária e receberam o conceito de plantas daninhas (Pitelli, 1990). Assim, desde o início das atividades agropecuárias do homem, as plantas daninhas constituíram motivos de preocupação e foram alvos de controle.

As táticas empregadas no controle também evoluíram à medida que a própria tecnologia agrícola evoluiu e as plantas daninhas se tornaram cada vez mais especializadas e eficazes na ocupação do agroecossistema. A monda, a capina manual e animal foram as técnicas inicialmente empregadas para o controle das plantas daninhas. Com o desenvolvimento das máquinas automotrizes, o preparo do solo passou a constituir a base para os sistemas de controle: a inversão da leiva e o revolvimento do solo pela aração e gradagem, apresentam grandes impactos nas dinâmicas das populações de plantas daninhas, os quais são complementados pelos impactos promovidos por medidas mais específicas que variam desde a monda até a utilização dos mais modernos herbicidas. O preparo intensivo do solo, muitas vezes executado sem as devidas avaliações da necessidade, pertinência e impacto sobre as propriedades do solo, passaram a contribuir para perdas intensivas pelas várias modalidades de processos erosivos. As reduções dos teores de matéria orgânica e as perdas de estruturação, também facilitam o processo erosivo.

Na década de 1970, foi iniciado um programa de redução da movimentação do solo nas operações de eliminação dos restos da cultura anterior a semeadura na nova lavoura, culminando com a implantação do sistema de plantio direto, promovendo grandes

* Engenheiro, Agrônomo, MSc, FCAV/UNESP, 14884-900 - Jaboticabal - SP. E-mail: pitelli@fcav.unesp.br.

** Engenheiro, Agrônomo, FCAV/UNESP, 14884-900 - Jaboticabal - SP. E-mail: jdurigan@fcav.unesp.br.

alterações no ambiente de crescimento e nas pressões ambientais sofridas pelas plantas daninhas. Em consequência foram verificadas alterações nas composições específicas das comunidades infestantes, na agressividade de certas populações, nos padrões dos fluxos de emergência e outras características desta vegetação. A análise do significado do sistema de plantio direto para as dinâmicas populacionais das plantas daninhas é a proposta fundamental deste capítulo.

A agressividade das plantas daninhas

No processo evolutivo as plantas daninhas adquiriram grande agressividade, caracterizada por elevada e prolongada capacidade de produção de diásporos dotados de alta viabilidade e longevidade, que são capazes de germinar, de maneira descontínua, em muitos ambientes. Normalmente, são dotados de adaptações para disseminação a curta e longa distância. Via de regra, as plantas daninhas apresentam rápido crescimento e desenvolvimento, são auto-compatíveis, mas não completamente autógamas ou apomíticas e, quando alógamas, utilizam-se de agentes de polinização inespecíficos ou o vento. Quando são perenes, apresentam vigorosa reprodução vegetativa e alta capacidade de regeneração de fragmentos e são bastante frágeis, de modo que as plantas se fragmentam e não são totalmente arrancadas do solo. Ademais, estas plantas desenvolvem mecanismos especiais que as dotam de grande habilidade de sobrevivência nos agroecossistemas, como produção de substâncias de natureza alelopática, hábito trepador e outros (Baker, 1965).

Resumindo, a perpetuação de uma espécie como planta invasora de agroecossistemas está condicionada a uma relação interativa entre a plasticidade de cada indivíduo e processos que, em longo prazo, proporcionam flexibilidade adaptativa frente às eventuais alterações do ambiente e às modificações que normalmente ocorrem em condições naturais em todo o sistema, através do tempo (Fernández, 1979).

Nos últimos anos, têm sido propostos interessantes conceitos a respeito das estratégias evolutivas desenvolvidas pelas plantas daninhas para a ocupação dos ecossistemas. Uma das teorias mais importantes é a de Grime (Grime, 1979). Este autor considera que há dois fatores limitantes externos que determinam a estratégia de crescimento e de reprodução das plantas superiores. Estes dois fatores são:

O estresse: fenômeno externo que impõe barreiras ao desenvolvimento vegetal, como disponibilidade de água, de nutrientes e de luz, temperaturas extremas, competição inter-específica etc...

O distúrbio: alterações ambientais relativamente drásticas que promovem a destruição total ou parcial da biomassa vegetal, como ceifa, cultivo, preparo do solo, pastoreio, fogo etc...

A frequência e/ou intensidade destes fatores pode variar muito. Se apenas forem considerados os fatores extremos, quatro situações podem ocorrer e os tipos ecológicos adaptados a cada situação são nomeados no Quadro 1.

Quadro 1 - Combinações de valores extremos de fatores externos básicos que afetam a estratégia evolutiva das plantas superiores e os nomes dados aos tipos ecológicos adaptados a cada condição (Grime, 1979).

Intensidade do distúrbio	Intensidade do estresse	
	Alto	Baixo
Alto	—	Ruderais
Baixo	Tolerantes ao estresse	Competidoras

As plantas que se enquadram em cada um destes tipos ecológicos podem ser identificadas por características comuns:

Tolerantes ao estresse: as plantas exibem características que lhes asseguram a sobrevivência em ambientes desfavoráveis. Apresentam reduzida alocação de recursos em favor do crescimento vegetativo e reprodutivo. Espécies com estas características são prevaletentes em ambientes não perturbados, em ambientes pouco produtivos ou nos estágios serais finais da sucessão ecológica.

Competidoras: as plantas exibem características que maximizam o recrutamento de recursos sob condições produtivas em ambientes pouco perturbados. Apresentam grande alocação de recursos em favor do crescimento vegetativo e são abundantes em estágios serais intermediários da sucessão ecológica.

Ruderais: as plantas são encontradas em ambientes altamente perturbados, porém produtivos. As plantas exibem características de rápido ciclo de desenvolvimento e elevada alocação de recursos a favor da formação de estruturas reprodutivas. Ocupam os estágios serais iniciais da sucessão ecológica.

É importante considerar que, no Quadro 1, apenas foram consideradas as condições extremas. Grime (Grime, 1979) prefere avaliar os vários tipos intermediários em um modelo triangular, onde são consideradas as várias situações intermediárias de estresse, de distúrbio e de competição com outras plantas.

A teoria de Grime (Grime, 1979) pode ser adaptada ao universo das plantas daninhas. Por exemplo, nas áreas de olericultura, onde o distúrbio é intenso, os solos são férteis, há abundância de irrigação e as plantas emergem em condição de solo nu, predominam as plantas daninhas com características ruderais. No outro extremo, em áreas de reflorestamento, onde há pouco distúrbio, os solos normalmente são de baixa fertilidade e há intenso estresse promovido pela interferência da espécie florestal, predominam plantas com características mais próximas às tolerantes ao estresse. Nas fases iniciais da implantação do reflorestamento predominam as plantas com características de competidoras, como também ocorrem em pastagens perenes.

Esta introdução teórica foi necessária para sedimentar o conceito de que a composição específica da comunidade vegetal que habita espontaneamente um agroecossistema é função do manejo agrícola empregado, especialmente em termos de mobilização (distúrbio) do solo e manejo dos fatores limitantes ao crescimento vegetal (estresse).

Plantio direto

Ação dos fatores ecológicos limitantes

Quando ocorre a alteração do sistema de plantio convencional para o sistema de plantio direto, há uma grande mudança no distúrbio e no estresse que são impostos ao ambiente agrícola.

Antes de comentar sobre os impactos da mudança do sistema de cultivo, é interessante que se apresentem alguns conceitos básicos acerca da ação dos fatores ecológicos nas populações vegetais. Mondchasky propôs uma classificação dos fatores ecológicos baseada na intensidade de adaptação dos organismos, que é tanto mais desenvolvida quanto maior for o tempo de atuação do fator. Classificou os fatores ecológicos em periódicos primários, periódicos secundários e não periódicos

Os *fatores periódicos primários* têm periodicidade regular (diária, lunar, estacionária e anual) e são conseqüências diretas do movimento de rotação e translação da terra, como o ritmo dia-noite, as estações do ano etc.... As plantas são totalmente adaptadas

a estes fatores, que atuam determinando os limites das áreas de distribuição geográficas das espécies. No interior destas áreas, sua ação nunca é fundamental.

Os *fatores periódicos secundários* são conseqüências das variações dos primários. Quanto mais estreita é a relação com o fator primário, mais regular é sua manifestação e maior é o grau de adaptação dos organismos ao fator. São exemplos: o ritmo pluviométrico anual, as flutuações da temperatura e da umidade do ar, as flutuações nas populações de inimigos naturais, simbiotes etc... Estes fatores atuam regulando a abundância das populações dentro de suas áreas de distribuição geográfica, mas não interferem expressivamente nos limites.

Os *fatores não periódicos* são aqueles que normalmente não ocorrem no habitat de uma planta. Quando ocorrem, promovem grandes impactos sobre as populações, pois os organismos não têm adaptações para variações deste fator. Quando um fator não periódico passa a se repetir com certa regularidade, as populações desenvolvem mecanismos de adaptação e sua ação deixa de ser impactante, chegando ao extremo de apresentarem respostas similares a um fator periódico secundário.

Impacto do plantio direto

No início da agricultura moderna, os processos de aração e gradagem constituíam *fatores ecológicos não periódicos* e, portanto, de grande impacto sobre as populações de plantas daninhas. A inversão da leiva, efetuada pelo arado, proporcionava elevada mortalidade dos diásporos e das partes vegetativas enterradas, uma vez que estas plantas não possuíam mecanismos de adaptação desenvolvidos para esta variável ambiental.

Com aplicações sucessivas destas práticas mecânicas, as plantas daninhas passaram a desenvolver mecanismos de adaptação que as permitissem sobreviver ao enterro, como a resistência aos agentes bióticos do solo, exigências de uma certa amplitude de variação térmica para iniciar o processo germinativo, desenvolvimento de inúmeros e complexos mecanismos de dormência, capacidade de germinação e emergência a partir de grandes profundidades no perfil do solo etc... Também houve uma uniformidade na distribuição dos diásporos no perfil da camada arável do solo, de modo que, a aração e gradagem apenas movimentavam o banco de sementes superficial para as zonas mais profundas e traziam as sementes mais profundas para a região mais superficial, mantendo o potencial de infestação das plantas daninhas. Assim, com o tempo de plantio convencional, o impacto do preparo do solo sobre as populações de plantas daninhas foi sendo paulatinamente reduzido.

É interessante ressaltar que algumas espécies não conseguiram desenvolver mecanismos adaptativos que lhes conferissem sucesso em campos conduzidos no sistema convencional, desaparecendo ou mantendo pequenas populações, sendo consideradas plantas daninhas de importância secundária.

De modo geral, no plantio convencional o ambiente para as plantas daninhas era caracterizado por elevado distúrbio do solo e ausência de qualquer cobertura vegetal por um determinado período, com o solo totalmente exposto.

Com a adoção do sistema de plantio direto, os fatos inusitados passaram a ser: o não revolvimento do solo e a presença de uma cobertura morta na superfície, que não existia no plantio convencional, além de incrementar a prática da rotação com culturas de inverno e o uso de herbicidas de manejo. Os impactos destes fatores serão discutidos isoladamente, embora seja evidente que existe interações entre eles.

Rotação da culturas

Pela sua própria história evolutiva, pode-se inferir que as plantas daninhas são plantas dotadas de elevada agressividade na ocupação de solos nus, mas são bastante sensíveis à presença de outras plantas no ambiente comum. Deste modo, uma ocupação eficiente do solo por parte da planta cultivada é um dos mais importantes fatores que prejudicam e mesmo impedem o estabelecimento e crescimento da comunidade infestante. Esta ocupação eficiente do solo deve ser considerada no tempo e no espaço.

A ocupação eficiente do espaço do agroecossistema por parte da cultura reduz a disponibilidade de habitats adequados ao crescimento e desenvolvimento das plantas daninhas. Neste aspecto, é importante que se considerem todos os fatores envolvidos na determinação do grau de interferência entre as plantas cultivadas e as comunidades infestantes, visando maximizar a pressão de interferência promovida pela cultura. Para tanto, é importante que se utilizem cultivares de rápido crescimento inicial, que sejam adequadas às condições edafo-climáticas predominantes na região e semeadas em arranjos espaciais que assegurem um rápido e intenso sombreamento do solo. Também é importante que as plantas daninhas sejam eliminadas durante os períodos de controle considerados críticos, ou seja, antes do término do *Período Anterior à Interferência* e após o término do *Período Total de Prevenção da Interferência* (Pitelli, 1985).

Também é interessante que se considere o conceito de ocupação temporal do agroecossistema, de modo que este seja ocupado com plantas cultivadas pelo maior período possível, evitando que as plantas daninhas se desenvolvam e aumentem seus potenciais de infestação. Neste aspecto, a rotação envolvendo culturas de inverno constitui prática fundamental para evitar os ciclos de entre-safra das plantas daninhas e, também, proporcionar uma mudança de condições no ambiente da lavoura, não permitindo que se formem grandes infestações de algumas poucas espécies. É importante recordar que antes de 1945, as principais medidas de manejo das plantas daninhas eram os cultivos e a rotação de culturas. O sistema mais eficiente consistia na rotação de cereais, leguminosas e pastagens. Nessas condições, as plantas daninhas tinham grandes dificuldades em incrementar suas populações. Após esta época, com as introduções das fontes sintéticas de nitrogênio e dos produtos de ação herbicida, a rotação foi paulatinamente sendo abandonada. Apesar das modernas técnicas de controle, as comunidades infestantes foram se tornando mais diversificadas e densas.

O sistema de plantio direto vem resgatar esta prática da rotação e, em conseqüência, seus impactos sobre as comunidades infestantes dos agroecossistemas.

Redução do distúrbio do sol

A redução do distúrbio do solo resultante da adoção do plantio direto, por si só, proporciona uma redução temporária das populações de plantas daninhas nos agroecossistemas. Vários são os fatores que contribuem para este comportamento:

- Grande proporção do estoque de diásporos do solo será mantida numa profundidade suficiente para que não ocorra a germinação e/ou emergência das plântulas.
- Os diásporos produzidos após a adoção do plantio direto, ficarão depositados numa camada superficial do solo, ficando mais susceptíveis à ação de predadores de grande porte como pássaros e roedores e da ação de microrganismos fitopatogênicos. Este é um aspecto especialmente importante no caso de algumas espécies cujos diásporos necessitam de um certo período de armazenamento para atingir maturidade fisiológica ou romper certas modalidades de dormência. Com o enterrio, típico do plantio convencional, ficariam protegidas durante o desenvolvimento deste processo.

- A maior concentração de diásporos na superfície do solo facilita a homogeneidade de emergência das plântulas, melhorando a efetividade das medidas de controle, especialmente a atividade de herbicidas.

Por outro lado, as plantas com características pioneiras que não lograram sucesso adaptativo no sistema convencional, podem ser favorecidas com o plantio direto e ter suas populações incrementadas. Esta mudança de flora é flagrante em algumas áreas antigas de plantio direto, onde as composições específicas das comunidades infestantes diferem daquelas de ocorrência comum no plantio convencional. No Brasil Central, nota-se que com a adoção do plantio direto, são incrementadas as infestações de *Conyza bonariensis*, *Digitaria insularis* e *Spermacocea latifolia*.

Cobertura morta

Os efeitos da cobertura morta sobre as plantas daninhas devem ser analisados sob três aspectos distintos - físico, químico e biológico - embora haja interações entre eles.

Efeito físico

O efeito físico da cobertura morta é bastante importante na regulação da germinação e da taxa de sobrevivência das plântulas de algumas espécies. Os efeitos sobre o processo germinativo podem ser exemplificados com a redução da germinação de sementes fotoblásticas positivas, das sementes que requerem determinado comprimento de onda e das sementes que necessitam de grande amplitude de variação térmica para iniciar o processo germinativo. É amplamente conhecido que a cobertura morta reduz as amplitudes diárias da variação térmica e hídrica na região superficial do solo. Esta redução da variação térmica tem expressivo impacto no processo germinativo das sementes de plantas daninhas, especialmente as espécies ruderais extremas. É importante considerar que o sistema de plantio direto permite uma continuidade da cobertura do solo, não permitindo qualquer período de exposição total.

O efeito físico da cobertura morta também reduz as chances de sobrevivência das plântulas das plantas daninhas com pequena quantidade de reservas nos diásporos. Muitas vezes, as reservas não são suficientes para garantir a sobrevivência da plântula no espaço percorrido dentro da cobertura morta até que tenha acesso a luz e inicie o processo fotossintético.

Efeito biológico

A presença da cobertura morta cria condições para instalação de uma densa e diversificada microbiocenose na camada superficial do solo. Na composição específica desta microbiocenose há uma grande quantidade de organismos que podem utilizar sementes e plântulas de plantas daninhas como fontes de energia e matéria. Muitos organismos fitopatogênicos podem utilizar a cobertura morta para completar o ciclo de desenvolvimento e produzir estruturas reprodutivas. De maneira geral, os microrganismos exercem importantes funções na deterioração e perda de viabilidade dos diversos tipos de propágulos no solo. O fungo *Drechslera campanulata*, no seu estágio sexuado, *Pyranophora semeniperda*, tem uma ampla gama de hospedeiros e é capaz de reduzir a viabilidade e germinação de diásporos de várias gramíneas (Medd, Nikandrow, Jones, 1984). Observações pessoais (Pitelli) mostram que um dos grandes problemas para o crescimento populacional de *Senna obtusifolia* na cultura da soja conduzido no sistema de plantio direto é o fungo *Alternaria cassiae* que sobrevive na cobertura morta e infecta as plântulas durante o estágio inicial de crescimento. Grande parte delas morrem e as sobreviventes têm o crescimento e produção de sementes expressivamente reduzidas.

Além disso, deve-se considerar que a cobertura morta cria um abrigo seguro para alguns predadores de sementes e plântulas, como roedores, insetos e outros pequenos animais.

Efeito químico

Há uma relação alelopática entre a cobertura morta e as plantas daninhas presentes no banco de sementes do solo. Após a morte da planta ou de seus órgãos, os aleloquímicos são inicialmente liberados pela lixiviação dos resíduos. A perda da integridade da membrana celular pela decomposição do resíduo permite a liberação direta de uma variedade de compostos, que podem impor sua ação de maneira aditiva ou sinérgica à dos lixiviados. Além disso, os microrganismos presentes no solo podem induzir a produção de compostos tóxicos por degradação enzimática dos conjugados ou polímeros presentes nos tecidos. Um exemplo deste processo é a ação de microrganismos em glicosídeos cianogênicos presentes em *Sorghum halepense* com a produção de duas toxinas: HCN e benzaldeídos (Putnam, 1985).

A atividade alelopática da cobertura morta depende diretamente da qualidade e quantidade do material vegetal depositado na superfície, do tipo de solo, da população microbiana, das condições climáticas e da composição específica da comunidade de plantas daninhas.

Alguns ácidos, com atividade alelopática foram identificados em solos sob cobertura morta, como os ácidos vanílico, p-cumárico, p-hidrobencóico, siríngico, protocatéico e ferúlico (Guenzi y Mc Calla, 1968). Sob cobertura morta de cevada foram encontrados os ácidos benzóico, fenilacético, fenilpropiónico e 4-fenilbutírico (Tousson, 1968). Sob resíduos de milho foram identificados: p-hidroxibenzilaldeído, floroglucinol, resorcinol, e os ácidos butírico, fenilacético, benzóico, siríngico, p-cumárico, trans-cinâmico e caféico (Chou y Lin, 1976). Os ácidos acético, propiónico e butírico são considerados os mais expressivos agentes aleloquímicos provenientes de cobertura morta de trigo (Tang y Waiss, 1978).

Os modos de ação dos aleloquímicos na planta receptora ainda não estão totalmente esclarecidos devido às dificuldades de separar os efeitos secundários das causas primárias. Geralmente influenciam em mais de um processo do vegetal, com velocidades distintas, o que provoca efeitos secundários difíceis de serem separados dos principais (Einhellig, 1986).

Existem numerosas evidências de que os aleloquímicos podem alterar a absorção de íons pelas plantas. No entanto, este fenômeno encontra-se associado ao colapso de outras funções, como a respiração, e a permeabilidade das membranas celulares. Os aleloquímicos podem atuar como reguladores do crescimento vegetal, como inibidores de fotossíntese, desreguladores da respiração e da permeabilidade de membranas, inibidores da síntese proteica e da atividade enzimática. (Einhellig, 1986).

Vários estudos têm sido conduzidos visando o manejo da cobertura morta no controle de plantas daninhas. No Brasil, foi demonstrada a eficácia da cobertura morta proporcionada por várias espécies de culturas de inverno, tendo detectado, inclusive, uma relação de seletividade na interação espécie da cobertura morta – espécie da planta daninha (Durigan y Almeida, 1993).

Considerações finais

O plantio direto, em comparação com o tempo de agricultura convencional, é uma prática relativamente recente. As reduções iniciais da diversidade e densidade das plantas daninhas foram os primeiros sinais do impacto deste sistema de plantio sobre a dinâmica das comunidades infestantes. As alterações das importâncias relativas das espécies,

com o predomínio de plantas pouco comuns no sistema convencional constituem outro tipo impacto que se evidencia atualmente. No entanto, estes impactos são resultantes de uma integração dos fatores acima comentados e da aplicação de herbicidas, especialmente os de manejo.

Os herbicidas de manejo passaram a constituir um outro agente de distúrbio introduzido no ambiente. De início, num caráter de fator ecológico não periódico, ainda apresentam grande impacto sobre as comunidades infestantes. Com os anos sucessivos de uso regular, as comunidades infestantes irão sofrer alterações e o impacto de controle destes produtos tenderá a decrescer. No entanto, herbicidas com diferentes modos e espectro de ação poderão ser manejados e manter a intensidade de impacto.

Literatura citada

- BAKER, D.N. 1965. Characteristics and modes origin of weeds. **In:** Baker, D.N. & Stebbins, B.L. *The Genetics of Colonizing Species*. New York, Academic Press. P. 1-24.
- CHOU, C.H. & LIN, H.J. 1976. Autointoxications mechanism of *Oryza sativa*. I. Phytotoxic effects of decomposing rice residues in soil. *J. Chem. Ecol.* 2(3): 353-367.
- DAJOZ, R. 1983. *Ecologia Geral*. Petrópolis, Editora Vozes. 472 p.
- DURIGAN, J.C. & ALMEIDA, F.L.S. 1993. Noções da alelopatia. Jaboticabal, Editora da FUNEP, *Boletim Técnico*, 28 p.
- EINHELLIG, F.A. 1986. Mechanisms and modes of action of allelochemicals. **In:** Putnam, A.R. & Tang, C.S. *The Science of Allelopathy*. New York, John Wiley & Sons. p. 171-188.
- FERNANDEZ, O. 1979. Las malezas y su evolución. *Ciencia y Investigación* 35: 49-59.
- GRIME, J.P. 1979. *Plant Strategies and Vegetation Process*. New York, John Wiley & Sons. 209 p.
- GUENZI, M.D. & MCCALLA, T.M. 1968. The phytotoxic substances extractes from soil. *Soil Sci.Soc. Am. Proc.* 30: 214-216.
- MEDD, R.W., NIKANDROW, A. & JONES, K. 1984. Possible use of soil-born pathogen for weed control. **In:** Int. Symp. Biol. Control of weeds, 6º, Vancouver. *Proceedings*, p.19-25
- PITELLI, R.A. 1990. Ecologia de plantas invasoras em pastagens. **In:** Simpósio sobre Ecossistema de Pastagens, 1º, Jaboticabal. *Anais*, p. 69-86.
- _____. 1985. Interferência das plantas daninhas em culturas agrícolas. *Informe Agropecuário* 11(129): 16-27.
- PUTNAM, A.R. 1985. Weed allelopathy. **In:** Duke, S.O. *Weed Physiology*. Boca Raton, CRC Press. P. 131-155.
- TANG, C.S. & WAISS, A.C. 1978. Short-chain fatty acids as growth inhibitors in decomposing wheat straw. *J. Chem. Ecol.* 4(2): 225-232.
- TOUSSON, T.A. 1968. Nature of phytotoxic substances during plant residue decomposition in soil. *Phytopatol.* 58: 41-45.

Dinámica y control de *Cynodon dactylon* en sistemas mixtos de siembra directa y laboreo convencional

por Amalia Ríos *

Introducción

Cynodon dactylon está considerada entre las cinco malezas más importantes a nivel mundial, estando presente en aproximadamente 80 países, entre los cuales se incluyen los que integran el cono sur latinoamericano (Holm et al, 1991).

Su incidencia se manifiesta a nivel agrícola y pecuario, dificultando la preparación de las sementeras, disminuyendo los rendimientos de cultivos, la calidad de los forrajes y la persistencia de praderas sembradas.

Ello se debe a que reúne casi todos los aspectos morfológicos, biológicos y ecofisiológicos que caracterizan a una invasora típica: presenta alta capacidad de propagación vegetativa, órganos de reserva subterráneos y aéreos, como rizomas y estolones, sobrevive a condiciones ambientales adversas, se adapta a diversos tipos de suelos, y no se logran controles excelentes aún con aplicaciones sucesivas de herbicidas totales.

Esta gramínea es una planta C_4 , por lo tanto desarrolla una alta eficiencia fotosintética en condiciones de alta intensidad lumínica, elevadas temperaturas, aún con humedad limitante. Las praderas entretanto, están constituidas en su gran mayoría por especies forrajeras C_3 , las cuales disminuyen sus tasas de crecimiento en condiciones de altas temperaturas y deficiencias hídricas.

La acumulación de biomasa subterránea de *C. dactylon* es creciente luego de implantada la pradera. Su importancia no se circunscribe al «mero» hecho de ocupar un lugar físico, de competir por agua y nutrientes, y de secretar sustancias alelopáticas, sino que además es la responsable de la perpetuación de la invasora y la mayor fuente de propagación de la especie. La agresividad y la capacidad de infestación de la especie inviabilizan los controles puntuales y evidencian la necesidad de integración de prácticas de control en el largo plazo.

Basándose en las consideraciones realizadas, el objetivo planteado con relación a *C. dactylon*, es lograr su control a niveles tales que su interferencia física y económica en los sistemas mixtos sea mínima, ya que en condiciones de producción su erradicación resultaría prácticamente imposible.

Dinámica de *Cynodon dactylon* en praderas

Las curvas de evolución de los rendimientos de las praderas sembradas y *C. dactylon* subterráneo en función del tiempo, construida en base a evaluaciones realizadas en condiciones de producción, muestran un pico de máxima para las praderas en el segundo

* Ing. Agr., M.Sc., INIA La Estanzuela, Ruta 50, km. 11, Colonia, Uruguay. E- mail: arios@inia.org.uy

año, a partir del cual declina la productividad, acelerándose la tasa de infestación de *C. dactylon*. (Figura 1).

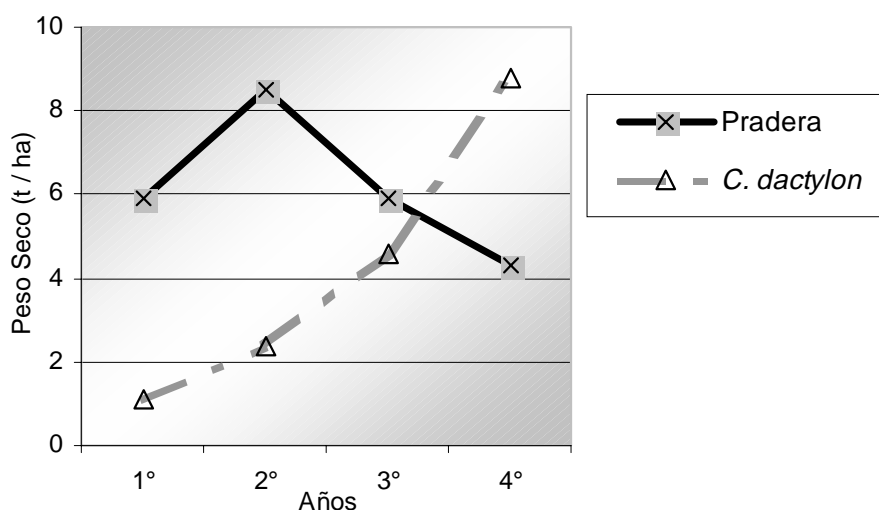


Figura 1. Evolución de los rendimientos de la pradera y del nivel de infestación de *C. dactylon* subterráneo con los años.

La declinación en la productividad y en la velocidad de colonización de la especie se acelera en condiciones de pastoreos continuos y rasantes en verano. El pastoreo aliviado durante primavera – verano de las praderas determina un mayor sombreado sobre *C. dactylon*, que sólo es efectivo en situaciones de baja infestación de la maleza y cuando la disponibilidad de agua no condiciona las tasas de crecimiento de la pastura. Asimismo la presencia de leguminosas en la pradera conlleva a la mayor disponibilidad de nitrógeno el cual es utilizado eficientemente por *C. dactylon* (Brown, 1978).

En general la pérdida de las especies sembradas es alta al finalizar el tercer año de la pastura (Ríos, Formoso, Panizza y Bonino, 1998), culminando el proceso degradativo de la pradera con una infestación generalizada de la maleza. Esta situación se favorece en el verano (Figura 2), ya que la maleza presenta un patrón de crecimiento estacional similar a la evolución de las temperaturas, comportamiento ya destacado por otros autores (Horowitz, 1972; Ríos, 1996).

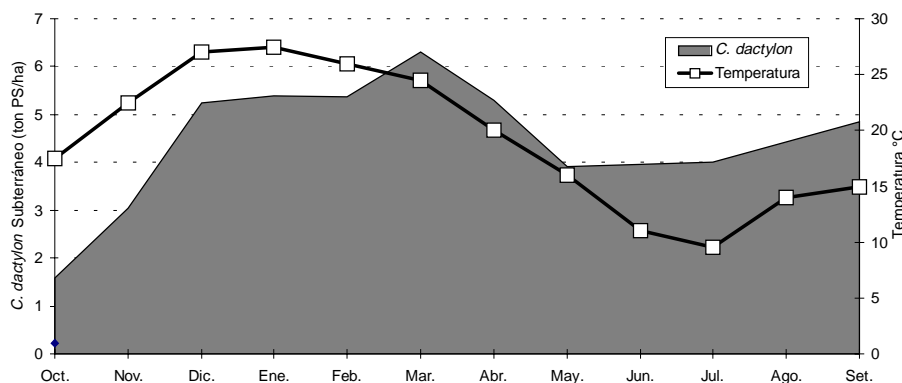


Figura 2. Evolución del contenido de *C. dactylon* subterráneo y temperaturas medias mensuales de suelo cubierto a 5 cm de altura.

La merma en la producción resulta casi total en el invierno donde el entramado de rizomas, estolones, tallos y hojas secas, limita el desarrollo de las especies implantadas, condicionando la germinación y el establecimiento de leguminosas y gramíneas anuales.

Generalmente, esta situación se asocia a potreros con historia agrícola, acentuándose la velocidad del deterioro cuando en la siembra no se incluye una gramínea perenne con crecimiento estival, o cuando ésta no logra una buena implantación.

Es importante señalar que en estudios de comportamiento de nuevos cultivares generados en INIA La Estanzuela se ha destacado *Dactylis glomerata* INIA LE Oberón entre diversas gramíneas perennes, por su capacidad de competencia frente a la maleza (García, 1995).

C. dactylon es una pobre productora de semillas en muchas partes del mundo (Holm et al, 1991). En nuestro país, la principal forma de propagación es vegetativa a través de los rizomas y de los estolones. En la base de los entrenudos se encuentran las yemas, zonas meristemáticas, que dependiendo de las condiciones de crecimiento tienen la capacidad de brotar originando raíces, hojas y tallos.

Esos propágulos vegetativos dan origen a rizomas y estolones que se desarrollan en forma radial. Los estolones luego, se van ramificando llenando los huecos dejados por las guías primarias (Horowitz, 1972). Se completa así, la doble trama aérea y subterránea en círculos concéntricos, cada vez más densos y amplios; son los clásicos focos y manchones que observamos en las praderas con las cuales empiezan las infestaciones de *C. dactylon*.

Es muy importante destacar que, a partir de un fragmento de rizoma en condiciones de secano se cubren 25 m² en un período de 2,5 años (Johnson y Ware, 1972).

En determinaciones realizadas en nuestras praderas se cuantificó una media de 13 yemas por gramo de peso seco de *C. dactylon* subterráneo, lo cual determinaría que si al momento de instalar una pastura el suelo presenta un nivel de infestación de 1000 kg PS/ha de *C. dactylon*, existirían 13 millones de yemas, en consecuencia a los tres años representaría unos 100 millones de propágulos (Ríos, Civetta y Sanz, 1997).

Estas consideraciones son relevantes para la comprensión de la precisión con que se deben realizar las prácticas de manejo relacionadas con el control de *C. dactylon*.

Control en las praderas

El control de *C. dactylon* durante el período de la pradera se restringe al empleo de graminicidas, en consecuencia las aplicaciones se circunscriben a pasturas o cultivos de leguminosas forrajeras o de praderas con gramíneas anuales, donde el herbicida se aplica en el período entre semillazón y germinación de las gramíneas, fines de noviembre-principios de marzo.

Cuadro 1. Recomendaciones de algunos graminicidas para el control de *C. dactylon*.

Herbicida	Dosis en i.a / ha
Propanil	0.08 a 0.1
Cletodim	0.13 a 0.17
Fluazifop butil	0.28 a 0.35
Quizalofop p tefuril	0.1 a 0.12
Haloxifop metil	0.09 a 0.1

Existen distintos graminicidas disponibles, cuyas dosis recomendadas en ingrediente activo / ha para el control de *C. dactylon* se presentan en el Cuadro 1.

La decisión de cual producto seleccionar para realizar la aplicación debería ser tomada basándose en el costo/ha, ya que la eficiencia de control a las dosis recomendadas en el Cuadro 1 es similar para los diferentes herbicidas.

Cuando se realiza una sola aplicación con cualquiera de los gramínicos citados en el Cuadro 1, el control es limitado en los años siguientes, y generalmente se recupera o supera el nivel de infestación presente al realizar el tratamiento.

Para mantener los niveles de productividad y evitar la reinfestación son necesarias aplicaciones anuales sucesivas, aun partiendo de bajos niveles de infestación al momento del establecimiento de la pradera.

Al respecto en la Figura 3 se compara la evolución en los pesos subterráneos de *C. dactylon* en años sucesivos y en respuesta a la aplicación de gramínicos, partiendo de dos situaciones marcadamente diferentes en los niveles iniciales de infestación, 500 (Figura 3A) y 1500 kg de PS/ha (Figura 3B).

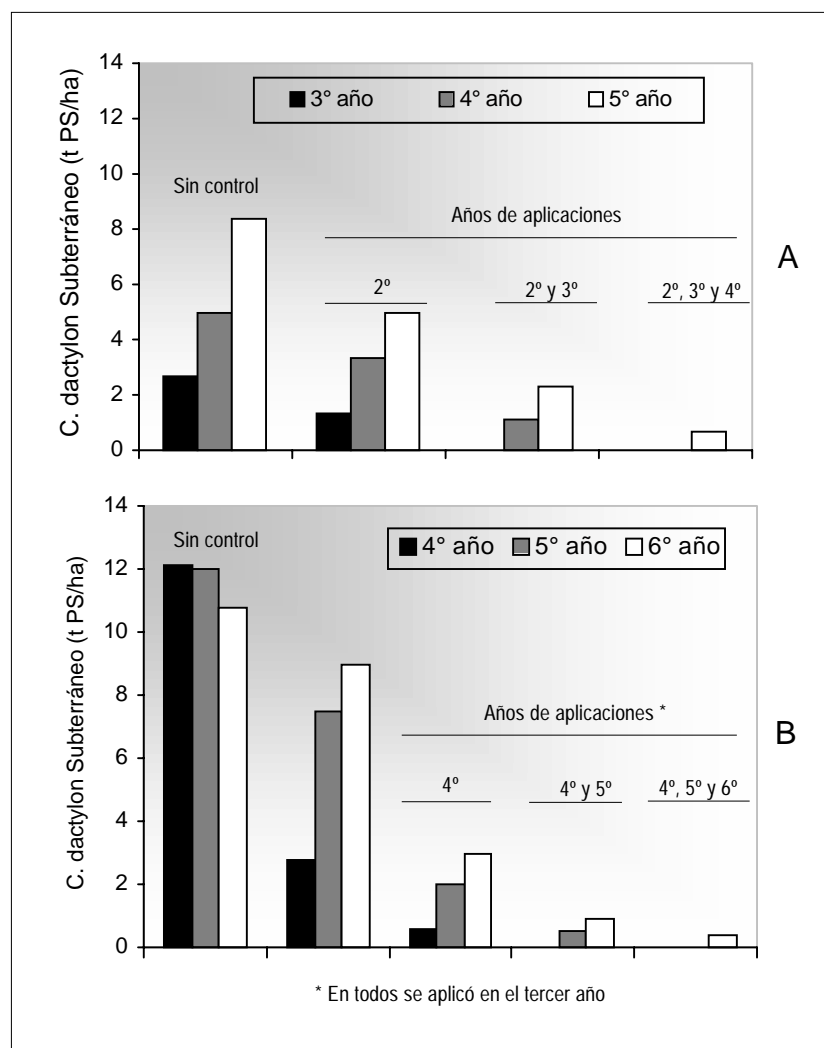


Figura 3. Control de *C. dactylon* en praderas sin gramíneas perennes

Cuando en el suelo existen niveles iniciales bajos de infestación de *C. dactylon* se obtienen al implantarse una pradera para las distintas especies, mayores poblaciones y tasas de crecimiento inicial de las plántulas. Posteriormente, en años sucesivos son también mayores las velocidades de rebrote luego de cada pastoreo o corte, con lo cual se favorece la persistencia de la pastura y en consecuencia su capacidad de competencia, obteniéndose paralelamente menores tasas de crecimiento y de acumulación de peso seco subterráneo de la maleza.

Las respuestas reseñadas se visualizan también en la figura que antecede, donde se observa que cuando no se aplican graminicidas, en el cuarto año de las pasturas, se cuantifican 5 y 12 t de *C. dactylon* subterráneo (Figura 3A y 3B respectivamente), en respuesta, como ya fue señalado, a las contrastantes diferencias en los niveles iniciales de la maleza.

Sin embargo, la eficiencia en el control de *C. dactylon* con distintos graminicidas ha sido reportada por otros autores (Bryson y Wills, 1985; Wilcut, 1991). Al realizar las aplicaciones de estos herbicidas en otoño se contempla el ciclo estacional de traslocación floemática que regula el movimiento de herbicidas sistémicos, favoreciendo su transporte hacia los rizomas. Posiblemente en nuestras condiciones los altos niveles de acumulación subterráneos de *C. dactylon* son los que limitan la eficiencia de los graminicidas.

Las praderas implantadas en situaciones que presentan baja infestación inicial de *C. dactylon*, producen en cuatro años de vida útil 6,6 t PS/ha, más, que las implantadas con niveles altos de infestación inicial. En estas últimas, además, la duración productiva se reduce de tres a sólo dos años (García y Villalba, 1996). En consecuencia, y dada la inviabilidad de los controles puntuales con graminicidas, se debe considerar que la etapa previa a la implantación de las praderas es clave para el control de *C. dactylon*.

Control preimplantación de praderas

C. dactylon compete con las plantas cultivadas, especialmente por agua y nutrientes, produciendo también una canopia lo suficientemente densa como para competir por luz. Es una planta típicamente heliófila que cuando crece a la sombra de un cultivo modifica su porte rastrero, los tallos se tornan erectos y los rizomas emergen continuando su crecimiento como estolones.

Esta respuesta ecofisiológica determina una mayor relación parte aérea/parte subterránea (PA/PS) y consecuentemente la disminución de las reservas subterráneas, y la modificación del patrón de crecimiento de las hojas que presentan una mayor área foliar específica, que cuando crecen bajo radiación completa.

Tradicionalmente, en sistemas de laboreo convencional el control de *C. dactylon* se realiza básicamente por medios mecánicos. El fraccionamiento de rizomas y estolones, y su exposición a condiciones ambientales adversas como altas o bajas temperaturas extremas y el estrés hídrico determinan que la planta reduzca o pierda su capacidad de rebrote por agotamiento de las sustancias de reserva.

Paralelamente, si se complementa el control mecánico, o sea el fraccionamiento de rizomas y estolones, con el control químico, se favorece la actividad de los herbicidas sistémicos, al disminuir la distancia a la cual se deben traslocar los productos y porque además, se promueve el número de yemas receptivas por disrupción de la dormancia y un mayor crecimiento de la parte aérea.

Control en sistemas con laboreo

En sistemas con laboreo, la alternativa del maíz con aplicación de eradicane (EPTC + antídoto), constituye, a la fecha, la medida de control más eficiente.

En la Unidad de Lechería de INIA La Estanzuela se instaló un experimento, en el cual, partiendo de una pradera degradada con niveles de infestación de *C. dactylon* subterráneo en el entorno de los 6.000 kg PS/ha, se realizaron dos secuencias de laboreos luego del período invernal.

Las secuencias de laboreos evaluadas fueron excéntrica-arado de rejas-disquera y excéntrica-2 cinceles cruzados-disquera.

Posteriormente se aplicó eradicane a 7 L/ha, incorporándolo en forma inmediata con dos pasadas de disquera, luego se sembró maíz para ensilar, y posteriormente se sembró una pradera mezcla de trébol rojo, avena y raigrás, que se ensiló el primer año.

En los suelos de la Unidad de Lechería existe un "pool" importante de semillas de leguminosas forrajeras, lo cual permitió además el establecimiento en la pradera de poblaciones espontáneas de trébol blanco y lotus.

Es importante destacar que en los siguientes tres años, el manejo del pastoreo fue el característico que se realiza en cualquier tambo, altas cargas durante períodos cortos, lo cual en definitiva favorece la persistencia de las leguminosas y paralelamente mantiene a *C. dactylon* bajo estrés biótico.

El control de *C. dactylon* logrado en el maíz con eradicane en ambos sistemas de laboreos fue excelente, y no fue necesario en los años posteriores aplicaciones de graminicidas para mantener bajos niveles de infestación. (Figura 4).

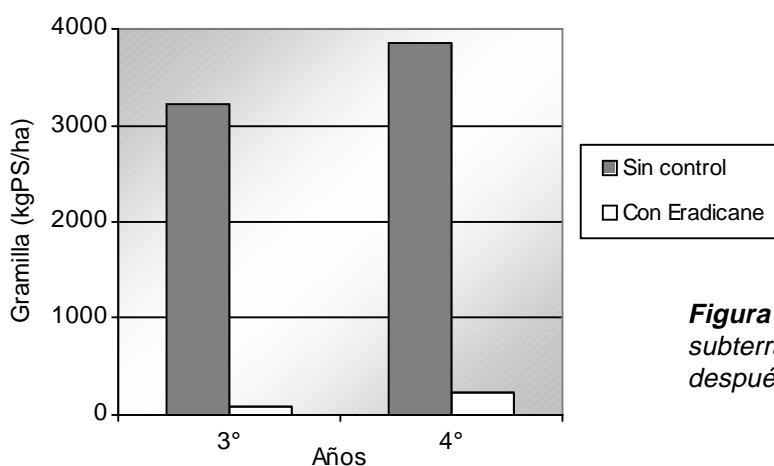


Figura 4. Evolución de *C. dactylon* subterráneo en la pradera instalada después del maíz con eradicane.

Esta eficiencia en el control está determinada por una sumatoria de factores, a saber:

1. El herbicida se incorpora al suelo y se volatiliza en el perfil en que es incorporado.
2. La preparación del suelo y la incorporación del herbicida con disquera, favorece el fraccionamiento de rizomas y estolones.
3. El fraccionamiento y temperaturas de suelo en el entorno de los 18°C promueven la actividad de los propágulos vegetativos de *C. dactylon*.

4. El herbicida está en la atmósfera del suelo, en consecuencia es absorbido por todas las yemas que están en activo crecimiento.
5. La muerte sucesiva de esas yemas por efecto del herbicida, también determina la brotación de los propágulos que permanecen latentes, y que también serán controlados por el producto.

Sin embargo, existen una serie de pautas que deben ser cumplidas estrictamente para maximizar la eficiencia de control:

1° El herbicida debe ser incorporado:

- a) Paralelamente, inmediatamente a la realización de la aplicación.
- b) Con disquera, pudiendo ser necesarias dos pasadas en suelos terronudos para sellar el suelo e impedir su volatilización.

2° El herbicida:

- a) Mantiene su actividad en el suelo por un período de un mes y medio a dos meses.
- b) Sólo controla *C. dactylon* si éste se encuentra en activo crecimiento, en consecuencia, actualmente no se recomienda para siembras de maíz de agosto-setiembre.

Concluyendo, el control químico inicial con eradicane, la competencia que ejerce el maíz, el posterior establecimiento de una pastura que incluya una gramínea perenne invernal con alta capacidad de competencia y el manejo del pastoreo con altas cargas instantáneas que favorecen la productividad de la pradera, determina en el largo plazo un excelente y persistente control de *C. dactylon*.

Control en sistemas con laboreo y con siembra directa

En sistemas de siembra directa, el control se realiza principalmente por medios químicos, debiéndose encarar los programas a largo plazo, con un manejo integrado incluyendo aplicaciones sucesivas de herbicidas totales como glifosato o sulfosato que se deben adaptar a la cadena productiva, donde las secuencias de cultivos forrajeros competitivos constituyen etapas claves previo a la implantación de la pradera.

Un cultivo que crezca rápidamente e intercepte la radiación competirán más efectivamente, limitando el crecimiento de la maleza. En consecuencia la densidad de siembra o las fertilizaciones nitrogenadas son prácticas de manejo que deben ser consideradas.

En este contexto, el control químico en la primavera del tercer año de la pradera para cortar el ciclo de acumulación subterráneo de *C. dactylon* durante el verano, es una práctica de manejo clave, tanto en condiciones de laboreo convencional como de siembra directa (Figura 2). Esta práctica condiciona además, la implantación y los rendimientos del cultivo de verano que se pretenda establecer para complementar con un estrés biótico al químico.

Así, en siembra directa, se ha determinado que con las aplicaciones de roundup¹ a diferentes dosis se pueden generar marcadas diferencias en el control de *C. dactylon* y

¹ Glifosato 36 %. En todas las aplicaciones de roundup se empleó como surfactante, Galactic (Blend of polyalkyleneoxide modified heptamethyltrisiloxane and surfactants 80%).

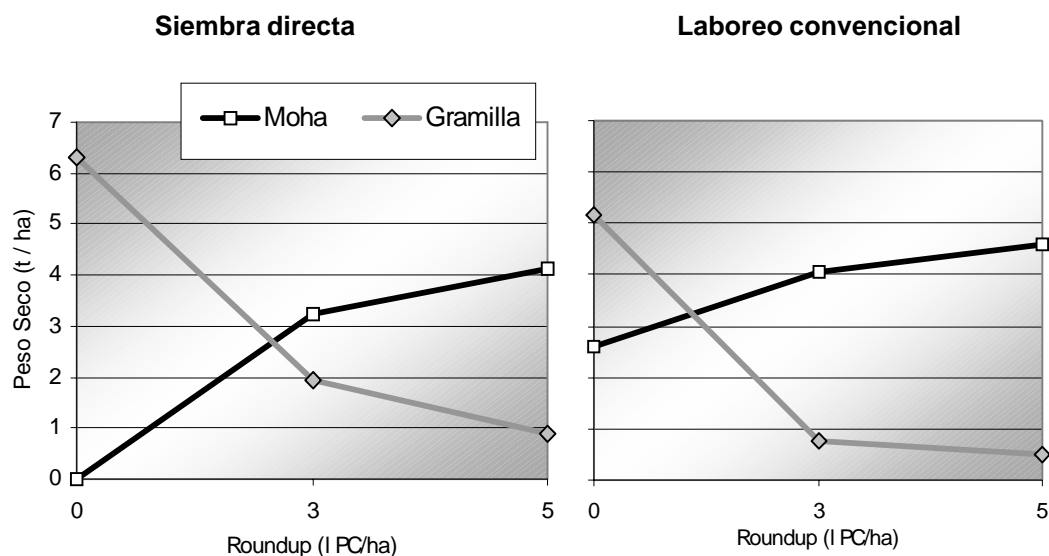


Figura 5. Rendimiento de moha y control de *C. dactylon* subterráneo en respuesta a aplicaciones con roundup.

en el rendimiento de un cultivo de verano como moha (Ríos, Formoso, Panizza y Bonino, 1998), no implantándose la moha cuando no se controló *C. dactylon* (Figura 5).

En sistemas con laboreo convencional también a mayores dosis del herbicida mayores rendimientos, sin embargo, sin control químico el cultivo se implanta, pero la interferencia de la maleza condiciona su productividad (Figura 5).

Cuando se realiza laboreo, la presencia de *C. dactylon* en cultivos estivales puede determinar mermas del 20-30% (Ríos, Civetta y Sanz, 1996). En este sentido Fernández y Bedmar (Fernández y Bedmar, 1992) reportan que la germinación de las especies que se pretenden implantar puede ser limitada por *C. dactylon* una vez que haya desarrollado una trama de rizomas y estolones.

En nuestras condiciones también se ha cuantificado la reducción en los niveles subterráneos de *C. dactylon* luego del invierno aún sin control químico en otoño (Ríos, Faggi y Scremini, 1997). Esta situación se explicaría por la sumatoria de los efectos de las bajas temperaturas invernales, la competencia en primavera de la pastura sobre *C. dactylon* y además porque el crecimiento se reinicia a expensas de las reservas de carbohidratos de los rizomas determinando menor biomasa en el suelo (Horowitz, 1972).

Al reiniciar *C. dactylon* su actividad en la primavera, el flujo de fotoasimilatos es principalmente acropétalo, en consecuencia es menor la traslocación del herbicida hacia la parte subterránea, no obstante la eficiencia de control puede ser mayor en primavera que en otoño.

En el otoño, al disminuir el crecimiento de *C. dactylon* en respuesta al menor fotoperíodo y temperatura, la traslocación es principalmente basipétala, lo cual favorecería una mayor acumulación del herbicida en rizomas y raíces.

En una pradera de tercer año en la primavera al reiniciarse la estación de crecimiento suelen cuantificarse niveles de 3.000 kg PS/ha, sin embargo en el otoño luego de la

fase de crecimiento primavero-estival, la biomasa subterránea puede llegar a duplicar la de primavera. Así, existiría una mayor concentración del herbicida aplicado sobre la biomasa subterránea de *C. dactylon* en primavera, 1,67 cc de roundup/kg PS de *C. dactylon*, que en otoño, 0,83 cc de roundup/kg PS de *C. dactylon*, originando importantes diferencias de control.

Estas diferencias en control son más marcadas en siembra directa que en convencional, y condicionan la respuesta en el rendimiento del verdeo invernol que se integra a la rotación (Figura 6).

Efecto de la fertilización nitrogenada

La fertilización nitrogenada es otra práctica que favorece el crecimiento de los cultivos, ejerciendo el sombreado un efecto similar al laboreo, ya que la maleza aumenta la relación PA/PS, disminuyendo su capacidad de rebrote por agotamiento de reservas.

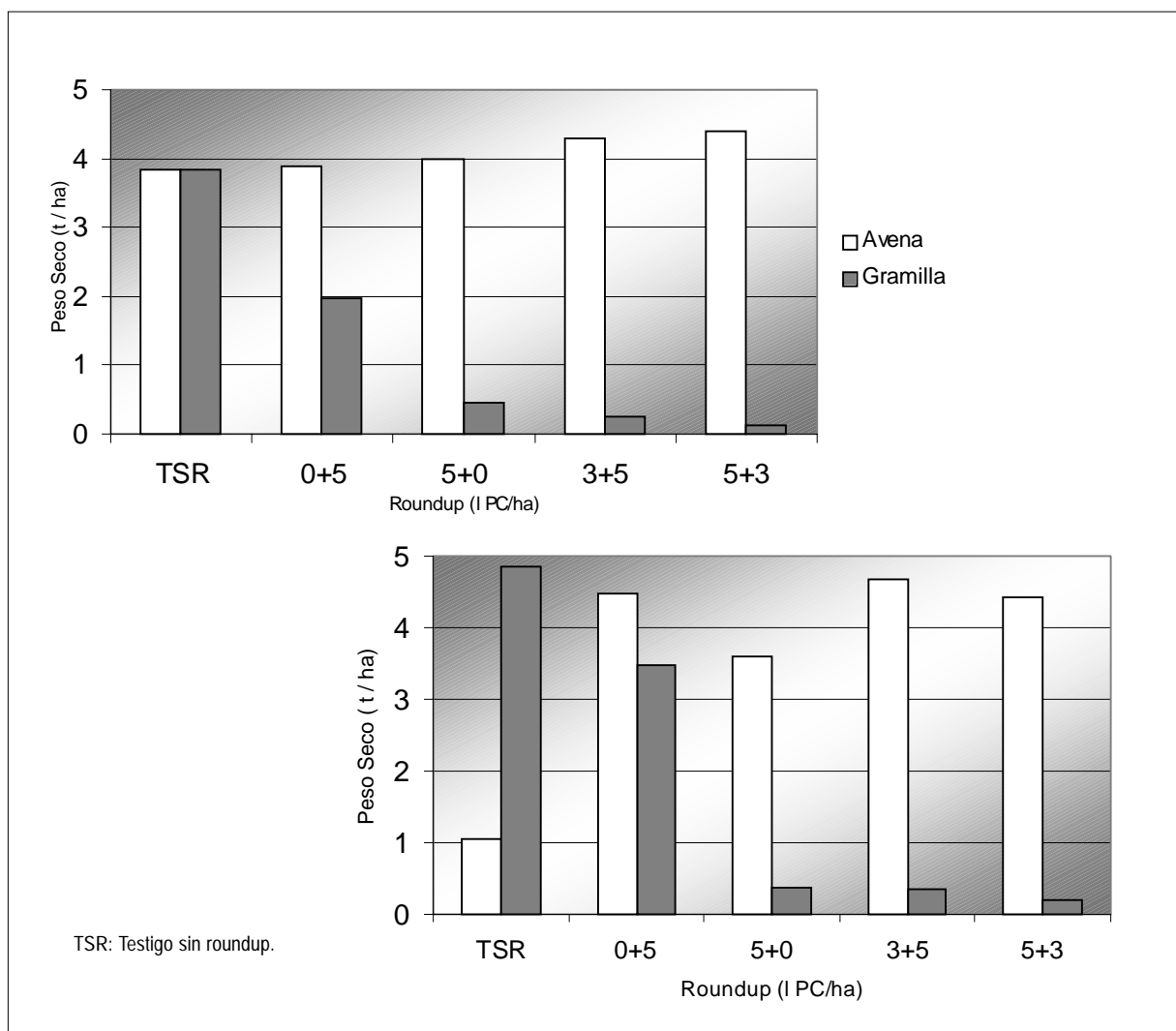
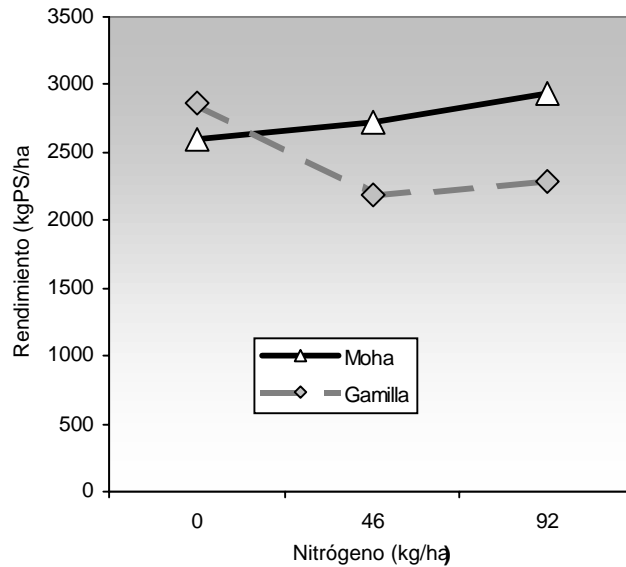


Figura 6. Rendimiento de avena y control de *C. dactylon* subterráneo en función de las aplicaciones de roundup realizadas en primavera + otoño.

Figura 7. Rendimiento de moha y control de *C. dactylon* subterráneo en función de la fertilización nitrogenada.



La bibliografía es consistente en señalar la elevada respuesta de *C. dactylon* al agregado de nitrógeno (Brown, 1978; Shepard, 1982; Wilcut, 1991). Sin embargo, cuando el nivel de radiación es limitante no se detectan respuestas en la producción de peso seco (Holm et al., 1991; Shepard, 1982). Es más, en ocasiones la mayor capacidad de competencia del cultivo en respuesta a la fertilización nitrogenada conlleva la tendencia a menores volúmenes de *C. dactylon* (Figura 7).

Los contenidos de nitrógeno en *C. dactylon* aumentan en respuesta a la fertilización nitrogenada (Burton, Southwell y Johnson, 1956; Wilcut, 1991). Asimismo, se ha determinado que aún con bajas intensidades de luz se producen acúmulos del nutriente en las raíces (Shepard, 1982), que favorecerían su establecimiento posterior. Sin embargo, el agregado de este nutriente también es capitalizado por el cultivo de verano, obteniéndose mayores rendimientos y contenidos de proteína en el forraje (Figura 8).

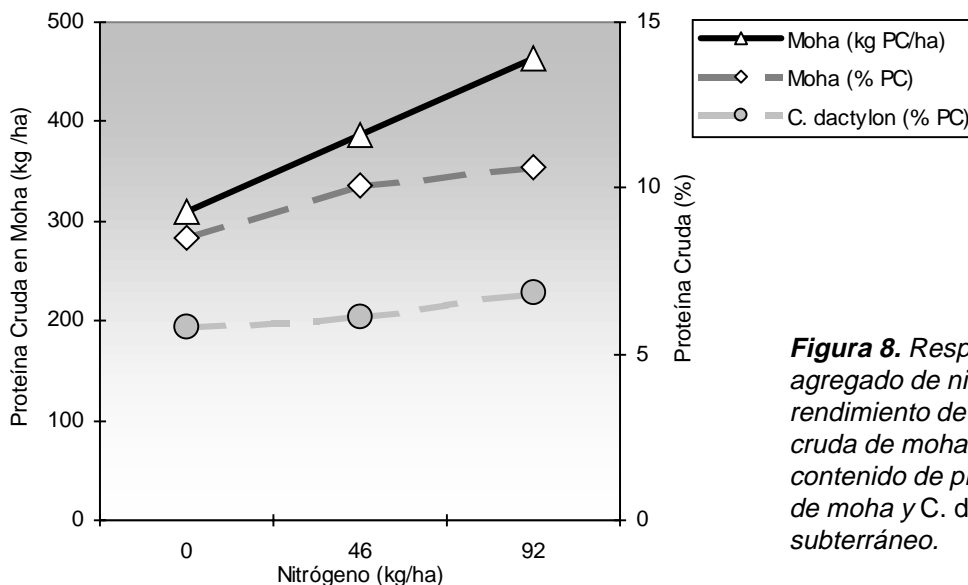


Figura 8. Respuesta al agregado de nitrógeno en el rendimiento de proteína cruda de moha y en el contenido de proteína cruda de moha y *C. dactylon* subterráneo.

Importancia del volumen de *Cynodon dactylon* y la concentración de Glifosato en el control

En general cuando no se complementa al control químico con un cultivo competitivo, es mayor la dificultad de lograr buenos controles con aplicaciones únicas de primavera o verano, con lo cual cobra mucha importancia en sistemas con laboreo el fraccionamiento de rizomas o estolones, o en sistemas de siembra directa la doble aplicación.

Al realizar doble aplicación, es importante que las superficies fotosintéticas estén activas previo a la reaplicación para la recepción del herbicida, en consecuencia debe transcurrir un periodo de tiempo suficiente para que la maleza se recupere y reinicie su crecimiento.

Estas puntualizaciones fueron corroboradas cuando en una pradera de tercer año que presentaba 4.500 kg PS total/ha de *C. dactylon*, de los cuales 2.050 correspondían a la parte subterránea se evaluaron cinco estrategias de aplicación (Schmidt y Blaza, 1969). Estas consistieron en aplicaciones de roundup realizadas en: enero + febrero + marzo a 3 L PC/ha en cada mes (E+F+M); enero + marzo a 3 y 5 L PC/ha en cada mes (E + M); febrero + marzo a 3 y 5 L PC/ha en cada mes; (F + M); y aplicaciones únicas en febrero y en marzo a 5 L en cada mes (F y M); comparándose un testigo sin roundup (TSR) que es la pastura infestada y un testigo con roundup (TCR) al que se le realizaron aplicaciones del herbicida cada 15 días a 3 L PC/ha.

En la primavera siguiente la mayor reducción alcanzada en el nivel de infestación de *C. dactylon* fue del 80%, que se produjo en el TCR con respecto al TSR. Cuando se realizó más de una aplicación los valores de reducción fueron superiores al 60%, en respuesta al mayor volumen total de herbicida aplicado en forma fraccionada, entretanto las aplicaciones únicas presentaron reducciones menores al 50% (Figura 9).

La concentración del herbicida aplicado sobre *C. dactylon* al momento de las aplicaciones de marzo, es mayor en la doble aplicación de enero+marzo, 1.19 cc de roundup/kg PS de *C. dactylon*, en comparación a la única de marzo con 1,01 cc de roundup/kg PS de *C. dactylon*.

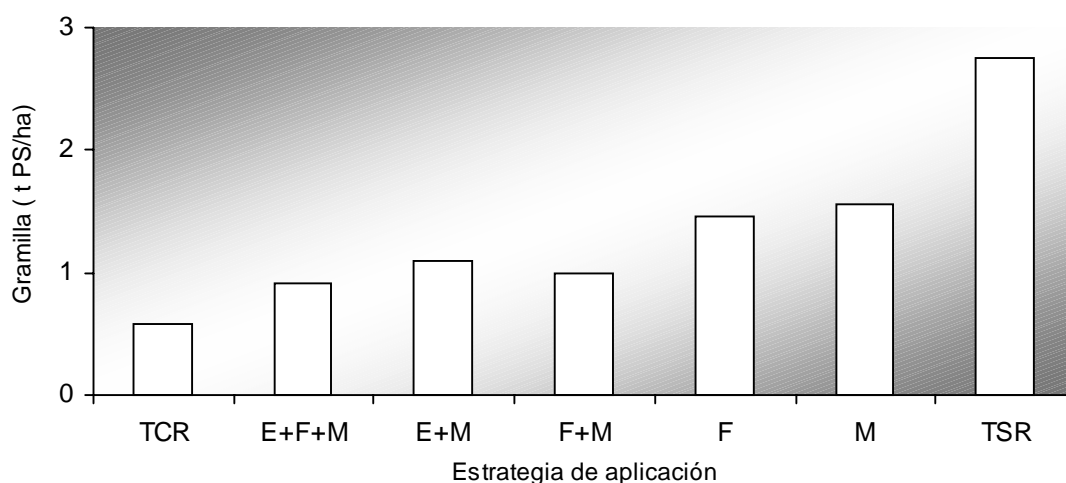


Figura 9. *C. dactylon* subterráneo en primavera en respuesta a las distintas estrategias de aplicación en el verano anterior.

La aplicación previa en el mes de enero habría disminuido la velocidad de crecimiento, concentrándose el herbicida en una cantidad menor de *C. dactylon* en el mes de marzo, lo cual favorecería el control. Similar situación se constató con la doble aplicación de febrero+marzo.

Entretanto, en las aplicaciones únicas de febrero y marzo, el control fue menor. La aplicación de febrero, se realizaría en un momento en el cual el flujo de traslocación basipétalo de fotoasimilatos y por ende del herbicida, sería menor que en marzo, los resultados de control, similares a los de marzo podrían explicarse también, por una mayor concentración del herbicida, 1,7 y 1,01 cc de roundup/kg PS de *C. dactylon*, en febrero y marzo respectivamente.

Importancia de la relación parte aérea/parte subterránea para el control

Ya fue mencionado que en malezas perennes la relación PA/PS al momento de la aplicación es otro factor que condiciona la eficiencia de los herbicidas (Lescano, 1981). Una relación PA/PS alta al momento de la aplicación es importante ya que garantiza una mayor absorción del herbicida. Considerando el ciclo de crecimiento de *C. dactylon*, es dable esperar que esta relación sea mayor durante el período primavera estival y decrezca en el otoño, lo cual sería otro factor que explicaría la efectividad de aplicaciones de verano.

Así, se ha determinado en el mes de enero que la relación PA/PS fue 1,27. El valor de esta relación se mantiene hasta principios de febrero, 1,26 y se revierte en marzo 0,9, en respuesta a la finalización del ciclo de crecimiento. En este momento *C. dactylon* está finalizando la floración por lo que comienza el período de traslocación de carbohidratos hacia la parte subterránea acumulando reservas para la siguiente estación de crecimiento.

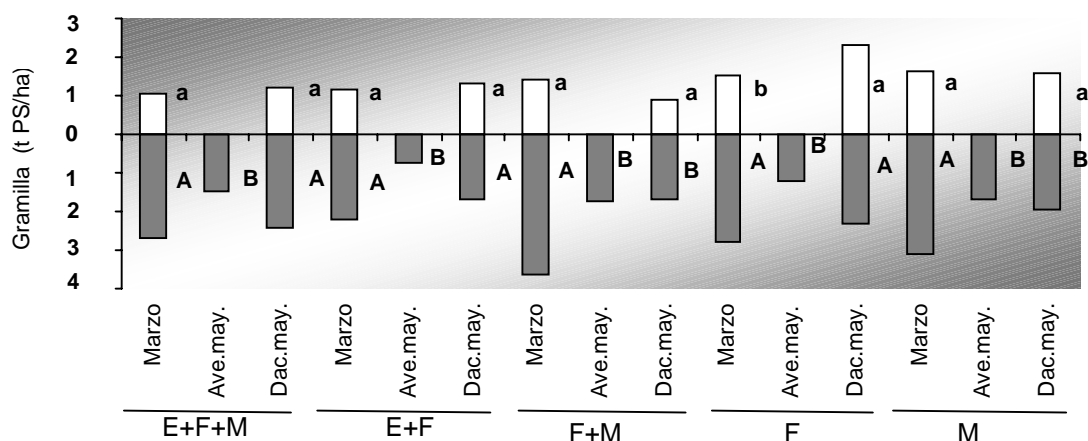
En ocasiones si las condiciones ambientales del otoño son favorables la especie continua su crecimiento. En esa situación, suele ser clave la implantación de un cultivo con altas tasas de crecimiento en otoño, que ejerza un estrés biótico inmediato a la aplicación (Figura 10).

La relación PA/PS, sería una variable que permitiría ejemplificar la importancia del efecto del inmediato establecimiento de la competencia.

Así, corroborando estas apreciaciones en el mes de mayo, la relación PA/PS fue 0,26 cuando, luego de las aplicaciones realizadas en febrero o marzo se implanta avena, mientras que si se siembra *Dactylis* la relación aumenta llegando a 1,22. La interferencia de la gramínea perenne sucede más tarde dado su menor tasa de crecimiento inicial (Figura 10).

Este crecimiento de otoño de *C. dactylon* también se observa en cultivos de verano al declinar la capacidad de interceptación de la radiación hacia la madurez del cultivo.

En consecuencia, como destaca Morena (1977) para que las medidas de control tengan éxito deberán integrarse de tal manera que las acciones se desarrollen desde la primavera hasta el otoño.



* Las letras minúsculas representan diferencias en PS/ha aéreo de gramilla y las mayúsculas en PS/ha subterráneo de gramilla entre los dos meses, para cada estrategia.

Figura 10. C. dactylon aéreo y subterráneo en marzo y mayo, en respuesta a las distintas estrategias de aplicación de roundup y a la interferencia posterior.

Conclusiones

La erradicación de *C. dactylon* es imposible en condiciones de producción, por lo tanto la convivencia con la especie debe estar enmarcada en la integración de prácticas de manejo, que permitan mantenerla en niveles que no interfieran en la productividad de los diferentes sistemas.

Literatura citada

- BROWN, R.H. 1978. A difference in N use efficiency in C3 and C4 crop plants and its implications in adaptation and evolution. *Crop Sci.*; 18:93-98.
- BRYSON, C.T. y WILLS, G.D. 1985. Susceptibility of bermudagrass (*Cynodon dactylon*) biotypes to several herbicides. *Weed Science* 33(6):848-852.
- BURTON, G.W.; SOUTHWELL, B.L. and JOHNSON, J.C. 1956. The palatability of coastal bermudagrass as influenced by nitrogen level and age. *Agronomy Journal* 48:360-362.
- FERNÁNDEZ, O.N. y BEDMAR, F. 1992. Fundamento para el manejo integrado del gramón *Cynodon dactylon* (L. Pers.). INTA. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (Arg.). Boletín Técnico N° 105. 26 p.
- GARCÍA, J.A. 1995. Gramilla y praderas. Montevideo, INIA. Serie Técnica N°. 67. 14 p.
- _____; FORMOSO, F.A.; RISSO, D.F.; ARROSPIDE, C.G. y OTT, P.M. 1981. Productividad y estabilidad de praderas. CIAAB. Estación Experimental Agropecuaria "La Estanzuela" (Uru.). Miscelanea N° 29. 23 p.
- GARCÍA, M. y VILLALBA, J. 1996. Efecto del sombreado y de la fertilización con nitrógeno y fósforo en el crecimiento de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uru., Facultad de Agronomía. 40 p.

- HOLM, L.R.; PLUCKNETT, D.L.; PANCHO, J.V. and HERBERGER, J.P. 1991. *Cynodon dactylon* (L.) Pers. **In:** The world's worst weeds; distribution and biology. Malabar, Fla., Krieger. p. 25-31.
- HOROWITZ, M. 1972 . Development of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Weed Research 12:207-220.
- _____.1972 . Spatial growth of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Weed Research 12:373-383.
- JOHNSON, B.J. y WARE, G.O. 1978. Dates of glyphosate treatments on weeds and bermudagrass (*Cynodon dactylon*). Weed Science 26(6):523-526.
- LESCANO, M.C. 1981. Bioecología del gramón. INTA. Estación Experimental Agropecuaria de San Pedro. Informe Técnico N° 61. 24p.
- MOREIRA, I. 1977.Efeito da temperatura no abrolhamento das gamas dos rizomas de *Cynodon dactylon* (L.Pers.). Anais do Instituto Superior de Agronomia (Lisboa) 37:41-47.
- RIOS, A. 1996. Control integrado de *Cynodon dactylon* . **In:** Curso de actualización técnica en manejo de malezas. (2, 1996, La Estanzuela , Uru.).
- _____; CIVETTA ,P. y SANZ, J.M. 1996. Control de *Cynodon dactylon* en sistemas de siembra directa y mínimo laboreo. 4ª Jornada Nacional de Siembra Directa . Mercedes, 4 de Octubre de 1996, AUSID, INIA, Prenader, ARS,. 5p.
- _____; CIVETTA, P, y SANZ, J.M: 1997. *Cynodon dactylon* control in conservation tillage system, **In:** XVIII International Grassland Congress. Proceedings. Volume 1. Sesión 7. Plant Physiology and Growth, June 8-19-1997. Canadá. ID 140.
- _____; FAGGI, N y SCREMINI, G. 1997. Control Integrado de *Cynodon dactylon* en Sistemas Pastoriles. Jornada Anual de Producción Animal. Unidad Experimental de Palo a Pique. 2 de octubre de 1997. INIA Treinta y Tres, p. 15-27.
- _____; FORMOSO,F.; PANIZZA, C. y BONINO; F. 1998. Siembra directa y convencional de pasturas en praderas degradadas a *Cynodon dactylon*. 6° Jornada Nacional de Siembra Directa, Mercedes, 8 de octubre de 1998, AUSID, INIA, Prenader, ARS, 12p.
- SCHMIDT, R.E. & BLAZER, R.E. 1969. Effect of temperature light and nitrogen on growth and metabolism of "tifgreen" Bermudagrass (*Cynodon sp.*). Crop Science. 9 (1) :5-9.
- SHEPARD, I.A. 1982. Evaluación de pasto bermuda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) para la producción de carne vacuna. Tesis Ing.Agr. Montevideo. Uru., Facultad de Agronomía. 59 p.
- WILCUT, J.W. 1991. Efficacy and economics of common bermudagrass (*Cynodon dactylon*) control in peanut (*Arachis hypogaea*). Peanut Science 18:106-109.

A detailed microscopic image showing a dense network of plant roots and soil particles. The roots are thin, fibrous, and brownish, while the soil particles are smaller, greenish-brown, and irregularly shaped. The overall texture is complex and porous. The image is overlaid with a semi-transparent yellow gradient on the right side, where the title is located. A solid blue vertical bar is on the far right edge.

Propiedades físicas e hídricas

Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa

por Daniel L. Martino*

Introducción

La adopción de sistemas de producción basados en la siembra directa puede estar limitada por la ocurrencia de restricciones físicas del suelo asociadas a procesos degradativos. La particular combinación de factores que caracterizan a la agricultura uruguaya determina la potencial ocurrencia de estos problemas. Estos factores incluyen: suelos de texturas medias a pesadas con baja capacidad de infiltración de agua, clima húmedo, y frecuente tráfico de maquinarias y animales.

Los cultivos que se desarrollan en suelos indisturbados son sujetos con frecuencia a un deficiente contacto entre semillas y suelo, a frecuentes excesos de humedad, a una elevada resistencia mecánica para el crecimiento de raíces, a deficiencia de nutrientes y a frecuentes deficiencias de agua (Blevins y Frye 1993, Ehlers et al. 1988). Estas condiciones se manifestarían con máxima intensidad durante la transición desde sistemas basados en laboreo, y tenderían a desaparecer debido a la acción en el largo plazo de los procesos de acumulación de materia orgánica, crecimiento y descomposición de raíces, y actividad de la mesofauna del suelo.

Los efectos de la estructura del suelo sobre el desarrollo vegetal están representados en el modelo conceptual presentado en la Figura 1. Sobre la izquierda de la curva se representa una situación en la que la estructura del suelo es adecuada, y el crecimiento vegetal no es limitado por factores físicos del suelo. A medida que nos desplazamos hacia la derecha por la curva, la condición física del suelo empeora, y el crecimiento vegetal es negativamente afectado. Si se inicia un sistema de siembra directa en un suelo como el representado sobre la mitad derecha de la curva, la productividad potencial estará limitada por la pobre condición estructural del suelo. A lo largo de los años, la estructura del suelo puede ser reconstruída por la acción de agentes naturales, llegándose a la situación representada en la parte superior derecha. En este caso, el suelo presentaría un alto nivel de consolidación, pero las raíces podrían crecer en un vasto sistema de biocanales y explorar el suelo suficientemente para soportar plantas tan productivas como aquellas que se desarrollan en suelos de excelente estructura.

El proceso de reconstrucción de la estructura del suelo puede demandar prolongados períodos de tiempo, especialmente si se parte de situaciones extremas. En estos casos, es necesario encontrar formas de acelerar dichos procesos de largo plazo, a efectos de asegurar la viabilidad de un sistema de siembra directa. Una de estas formas sería el aflojamiento mecánico del suelo preservando la cubierta de residuos y minimizando los efectos negativos sobre los agentes formadores de biocanales. Otro enfoque para este

* Ing. Agr., Ph.D., Grupo de Riego, Agroclima, Ambiente y Agricultura Satelital (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay. E-mail: martino@inia.org.uy

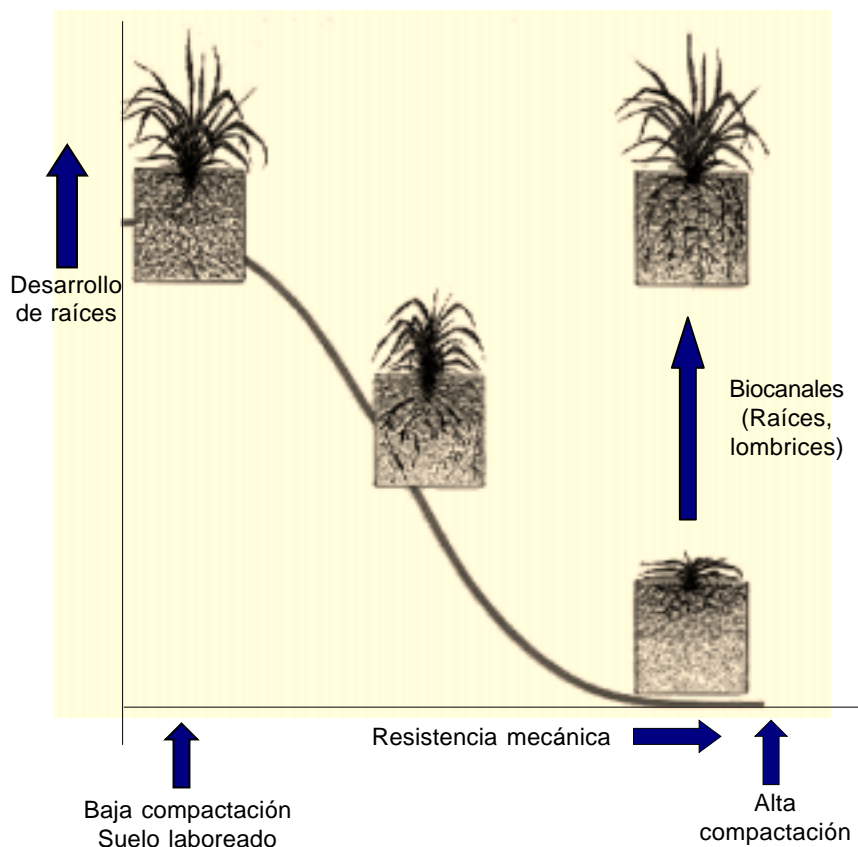


Figura 1. Modelo conceptual de los efectos de la compactación del suelo sobre el desarrollo vegetal en sistemas de agricultura sin laboreo

problema sería la explotación de la capacidad de ciertas especies vegetales para desarrollar sistemas de raíces extensivos en suelos compactados.

En este capítulo se presenta un análisis de los factores físicos del suelo que afectan el crecimiento vegetal y de cómo estos factores pueden ser medidos. Posteriormente se considera brevemente el fenómeno de compactación de los suelos, así como la respuesta vegetal al mismo. Por último, analizaremos el manejo de las restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa, incluyendo información obtenida en el país.

Propiedades fundamentales del suelo que definen el ambiente físico de las raíces

Los suelos son la reserva de nutrientes, agua, energía y oxígeno para las plantas, además de constituir el soporte físico para las raíces. La estructura física del suelo, que regula la capacidad de almacenaje y la intensidad y dirección del flujo de los diferentes compuestos y energía, varía ampliamente en respuesta a factores genéticos y ambientales.

La estructura del suelo no es fácilmente medible, debido a la complejidad del mismo y a la multiplicidad de sus funciones. La composición mineralógica básica y la distribución del tamaño de partículas, así como el modo en el cual las partículas se unen para formar agregados, son los principales factores que determinan las propiedades físicas del suelo. Estos factores pueden ser fácilmente cuantificados de acuerdo con

procedimientos analíticos estandarizados (Klute, 1986). Sin embargo, esto no es suficiente para suministrar una descripción del sistema, dado la fuerte interacción de estos factores con el clima, la actividad biológica del suelo y las prácticas agrícolas.

Una dificultad adicional para la medición de la estructura del suelo es su naturaleza altamente dinámica. Un evento aislado, tal como una lluvia o una operación de laboreo, puede modificarla drásticamente y en muy corto tiempo. En consecuencia, la estructura del suelo solamente puede ser definida en términos de parámetros que miden procesos o propiedades parciales, y debe referirse necesariamente a un determinado marco de tiempo.

Letey (1985) analizó la relación entre las propiedades físicas del suelo y la productividad de los cultivos, y estableció que, aun cuando un gran número de variables -tales como densidad aparente, distribución del tamaño de poros y estabilidad de agregados- tienen una gran influencia en el crecimiento de las raíces, éste es en última instancia gobernado solamente por cuatro propiedades fundamentales: la resistencia mecánica y la disponibilidad de agua, oxígeno y energía. Las propiedades medibles asociadas con estos factores son, respectivamente, la resistencia a la penetración de sondas metálicas (RP), el potencial de agua en el suelo, la tasa de difusión de oxígeno y la temperatura. La determinación del nivel óptimo de estas variables con relación al crecimiento vegetal se dificulta por el hecho de que las mismas están estrechamente correlacionadas entre sí, lo cual se suma a la dificultad ocasionada por su variación en el tiempo y el espacio. A continuación se analiza brevemente la influencia de estas cuatro variables sobre los cultivos.

Resistencia a la penetración

Las raíces que crecen en un medio poroso, como lo es el suelo, deben superar la resistencia mecánica que el mismo les impone. Ello se logra ya sea a través de la penetración de poros y canales ya existentes, de un tamaño mayor que el de las raíces (Wiersum, 1957), o deformando la estructura del medio. Las raíces deforman el suelo principalmente fracturándolo y/o comprimiéndolo (Barley y Greacen, 1967). Debido a esto, las propiedades del suelo que determinan la RP son la resistencia a la fractura - que a su vez es función de la cohesividad y del ángulo de fricción interna- y la compresibilidad. Considerando las propiedades macroscópicas, la RP de un suelo depende principalmente del tipo de suelo (textura), la densidad aparente y el contenido de humedad (Taylor y Gardner, 1963; Camp y Lund, 1968; Taylor y Ratliff, 1969; Ayers y Perumpral, 1982; Henderson *et al.* 1988).

Los penetrómetros de cono de penetración estática son los instrumentos más comúnmente utilizados para medir la RP. A diferencia de las raíces, los penetrómetros no son capaces de adaptar su forma en función de los obstáculos que el suelo presenta para su movimiento, ni son capaces de reducir su fricción con las partículas del suelo a través de la secreción de lubricantes. Debido a ello, los valores de RP medidos con un penetrómetro son generalmente mayores a los que sufre una raíz creciendo en el mismo suelo. A pesar de esto, el penetrómetro de cono es una herramienta muy eficaz para diversos usos relacionados con el estudio de las propiedades físicas de los suelos.

La humedad del suelo afecta a los tres factores del suelo que determinan la RP: cohesividad, ángulo de fricción interna y compresibilidad (Camp y Gill, 1969; Williams y Shaykewich, 1970; Larson *et al.*, 1980; Ayers y Bowen, 1987). Por otra parte, la fricción entre cono y suelo también es afectada por la cantidad de agua en el suelo. Como resultado de todos estos efectos, los valores mínimos de RP ocurren cuando el suelo tiene los máximos contenidos de humedad. A medida que el suelo se seca, la RP aumenta exponencialmente hasta alcanzar un valor máximo que ocurre en niveles de humedad del orden de 1 a 3 % en peso. La relación entre RP y contenido de agua es afectada por

el estado estructural del suelo, y constituye una herramienta potencialmente muy buena para el diagnóstico de la condición física de un suelo (Martino, 1998).

El incremento en la RP debido al secado del suelo es tanto más marcado cuanto mayor es la densidad aparente (Taylor y Ratliff, 1969; Ayers y Perumpral, 1982). Un incremento en la densidad del suelo implica una disposición más apretada de sus partículas constituyentes, lo que determina reducida compresibilidad y elevada fricción interna del suelo.

La distribución del tamaño de partículas o textura de un suelo es otro factor importante en la determinación de la RP. Debido a su muy alta cohesividad, los suelos arcillosos desarrollan niveles de RP sumamente altos (Mielke *et al.*, 1994). En un trabajo efectuado con suelos artificiales con densidad aparente de 2 g/cm³, Ayers y Perumpral (1982) determinaron que la máxima RP de un suelo con 100 % de arcilla fue 12 MPa, con un contenido de humedad cercano al 10 % en peso. Mientras tanto, un suelo compuesto solamente por partículas de arena tuvo una máxima RP de 0,05 MPa a 6 % de humedad. En la realidad, los suelos arcillosos tienen usualmente densidades aparentes mucho menores y contenidos de humedad mayores a los utilizados en este estudio, por lo cual los valores de RP comúnmente registrados son mucho menores a los reportados. Por otra parte, los suelos arenosos pueden desarrollar niveles de RP mayores a los que se derivan de su cohesividad, debido a la fricción entre partículas (Henderson *et al.*, 1988).

Contenido de agua del suelo

La disponibilidad de agua es uno de los principales factores que gobiernan el desarrollo de los cultivos. A su vez, el contenido de humedad afecta marcadamente a la tasa de difusión de oxígeno, la temperatura y la resistencia mecánica de un suelo.

El agua ocupa el espacio poroso del suelo, y es retenida en la matriz del suelo por varios tipos de fuerzas. Para extraer agua, una planta debe superar esas fuerzas, que son muy reducidas cuando el contenido de humedad es cercano a la saturación, y se incrementan en la medida en que el suelo se seca. La relación entre el contenido de humedad -expresado como el porcentaje del volumen del suelo que está ocupado por agua- y el potencial de agua en el suelo -expresado como la cantidad de energía requerida para llevar esa agua al estado libre- es una propiedad fundamental de un suelo conocida como la curva característica de retención de humedad (Hamblin, 1985; Hanks 1992). La forma de esta curva es función de la estructura del suelo (Gupta *et al.*, 1989; Nimmo, 1997) entre otros factores.

Sólo una fracción del agua presente en el suelo puede ser utilizada por las plantas. De acuerdo al concepto clásico, la humedad disponible es la que se encuentra entre dos puntos notables de la curva característica de retención de humedad: capacidad de campo y punto de marchitez permanente. La capacidad de campo es el agua retenida luego de que un suelo saturado se deja drenar hasta que la descarga de agua se detiene (Veihmeyer y Hendrickson, 1949) y generalmente corresponde a potenciales de matriz de entre -10 y -50 kPa. El punto de marchitez es el mínimo contenido de humedad al cual las plantas pueden crecer, correspondiendo a un potencial cercano a -1,5 MPa (Hillel, 1980).

Estos límites son afectados por un sinnúmero de factores y, en general, la cantidad de agua disponible es menor que la que surge de la diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez. El concepto de capacidad de campo como el contenido de agua ideal para el crecimiento vegetal puede quedar invalidado si, como sucede en suelos de pobre estructura física, la difusión de oxígeno se ve impedida. Por otra parte, el límite inferior de disponibilidad de agua coincide con el punto de marchitez solamente cuando

las raíces pueden crecer en contra de la alta resistencia mecánica que se desarrolla en suelos secos. La distancia desde la cual las raíces pueden extraer agua del suelo se reduce a unos pocos milímetros en suelo seco, debido al marcado descenso en la conductividad hidráulica del mismo (Gardner, 1960). Es por ello que la extracción de agua a bajos contenidos de humedad depende de la presencia de densos sistemas de raíces.

Estas limitaciones del concepto clásico condujeron a Letey (1985) a definir el concepto de “rango no limitativo de disponibilidad de agua” como la cantidad de agua retenida entre dos límites. El límite superior sería el contenido de humedad al cual la disponibilidad de oxígeno se vuelve insuficiente, en caso de que este valor fuera inferior al correspondiente a capacidad de campo. El límite inferior se define como el contenido de humedad al cual la resistencia mecánica del suelo impide el crecimiento de las raíces, en aquellas situaciones en que este valor resulte superior al correspondiente a marchitez permanente. Este concepto fue refinado por da Silva *et al.* (1994), quienes introdujeron el concepto de “rango menos limitativo de disponibilidad de agua” y suministraron las primeras caracterizaciones de este indicador de calidad estructural para dos suelos. En un trabajo posterior, da Silva y Kay (1996) relacionaron este indicador con la productividad de maíz.

Temperatura del suelo

La superficie del suelo intercepta energía en forma de radiación solar (onda corta) y radiación atmosférica (onda larga), y emite radiación de onda larga a una tasa gobernada por la temperatura del suelo. El balance de estos procesos, conocido como radiación neta (Davies e Idso, 1979), es de signo positivo durante las horas del día, y de signo negativo durante la noche. La energía de radiación neta es almacenada en el suelo como calor, utilizada por los procesos biológicos, disipada como calor por convección, o disipada como calor latente a través de la evaporación de agua desde el suelo (Rosenberg *et al.*, 1983). Cuando el contenido de humedad del suelo es elevado, la evaporación es el proceso que consume la mayor cantidad de energía, mientras que en condiciones secas, la mayor parte de la energía de radiación neta es utilizada para calentar el suelo y el aire adyacente (Ross *et al.*, 1985), y es posteriormente perdida como radiación nocturna hacia la atmósfera. Como consecuencia, la temperatura del suelo es inferior y menos variable en suelo húmedo que en suelo seco (Hanks, 1992).

La proporción de la radiación neta que es utilizada para almacenaje de calor en el suelo depende de la estructura del suelo y de su contenido de humedad. Debido al elevado calor específico del agua, los suelos húmedos son capaces de almacenar grandes cantidades de energía con incrementos relativamente bajos en la temperatura (Hillel, 1980). En estos casos, considerando que el flujo de calor dentro del suelo es impulsado por gradientes de temperatura, el movimiento de calor hacia capas profundas del suelo es limitado.

El efecto de la estructura del suelo sobre su temperatura es evidente principalmente en suelos relativamente secos. Los minerales del suelo tienen un calor específico que es aproximadamente cinco veces inferior que el del agua y, por consiguiente, en suelos secos se generan gradientes de temperatura con relativa facilidad. Si el número de contactos entre partículas es elevado, como ocurre en suelos livianos o en suelos compactados, la difusividad térmica es elevada.

Las temperaturas óptimas para el desarrollo de raíces son en general algo inferiores a aquellas para crecimiento de los órganos aéreos de las plantas. Dependiendo de la especie, ellas varían entre 20 y 25 °C (Bowen, 1991).

Tasa de difusión de oxígeno del suelo

Las raíces de las plantas y los microorganismos de la rizósfera utilizan oxígeno como el aceptor final de electrones en el proceso respiratorio. Las moléculas de oxígeno difunden desde la atmósfera hacia el suelo a través del espacio poroso, que es ocupado por agua y aire. El oxígeno tiene baja solubilidad en agua (0,039 g L⁻¹ a temperatura y presión normales). Por otra parte, la difusividad del oxígeno es 10.000 veces inferior en agua que en aire. En consecuencia, el suministro de oxígeno a las raíces depende de la existencia de un sistema continuo de poros ocupados por aire. Por consiguiente, el contenido de humedad, la distribución del tamaño de poros y la posición topográfica son propiedades de los suelos que afectan directamente la aireación de las raíces.

Es comúnmente aceptado que cuando el volumen de aire de un suelo es inferior a 10 % en volumen, el suministro de oxígeno a las raíces se ve afectado (Grable, 1971). Sin embargo, este es un valor empírico que carece de validez en un amplio rango de situaciones. La medición de la tasa de difusión de oxígeno hacia electrodos de platino insertados en el suelo (Lemon y Erickson, 1952) sería un indicador más ajustado del estado de aireación de un suelo. Los umbrales críticos de este parámetro, por debajo de los cuales la actividad de las raíces es afectada, varían entre 0,2 y 0,3 µg O₂ cm⁻² min⁻¹ (Stolzy y Letey, 1964; Erickson, 1982).

Compactación de los suelos

El grado de empaquetamiento o compactación de las partículas de un suelo determina su capacidad para permitir el desarrollo de cultivos, su capacidad para soportar el tráfico y su susceptibilidad a la erosión, entre otros factores. Un suelo muy suelto puede suministrar un ambiente favorable para el desarrollo de las plantas, pero puede ser muy susceptible a la erosión y no permitir el tráfico de máquinas. En el otro extremo, suelos con alto grado de compactación pueden soportar el tráfico en un amplio rango de contenidos de humedad, pero imponen importantes restricciones para el crecimiento de cultivos.

La compactación es un proceso de degradación estructural de suelos agrícolas con incidencia en diversas regiones del mundo (Soane y van Ouwerkerk, 1994). En el pasado, el uso de tracción animal y tractores a vapor fueron causantes principales de la compactación de suelos. Con el desarrollo de los motores de combustión interna, la carga sobre los suelos decreció progresivamente hasta la década de los 60, cuando comenzó un proceso de incremento en el tamaño y peso de las máquinas agrícolas. En el presente, el uso de grandes tractores con ruedas proporcionalmente más pequeñas que en el pasado, está generando importantes problemas de compactación de suelos (Freitag, 1979).

El aflojamiento del suelo causado por el laboreo favorece la infiltración de agua, la aireación y el desarrollo de raíces. Por esta razón, en los sistemas tradicionales de producción basados en el laboreo, los problemas de compactación son en cierta forma disimulados, al menos durante breves períodos de tiempo. Cuando el suelo se deja sin trabajar, como en el caso de los sistemas basados en la siembra directa de cultivos, la consolidación natural tiende a incrementar la densidad del suelo, lo cual se agrega a la acción de agentes compactantes como la maquinaria, los animales y las lluvias.

Compactación del suelo inducida por el tráfico de maquinarias y animales

El tráfico de maquinarias causa una densificación del suelo en el sitio de contacto entre rueda y suelo, que puede extenderse hasta distancias considerables desde la superficie.

El incremento en la densidad aparente y la profundidad afectada dependen de factores como la textura del suelo, el contenido de humedad, la presión de contacto, el peso de los ejes, la velocidad del vehículo y el número de pasadas (Arvidsson y Håkansson, 1996; Raghavan *et al.*, 1990).

En comparación con el abundante conocimiento disponible en materia de compactación por maquinarias agrícolas, la información experimental disponible sobre los efectos del pisoteo animal es sumamente reducida. Es posible estimar, a partir de datos de área basal y peso corporal, que los animales en pastoreo aplican presiones sobre el suelo en el rango entre 150 (novillo de 300 kg) y 350 kPa (oveja adulta), valores notoriamente mayores que los correspondientes a tractores agrícolas, que ejercen presiones del orden de 80 (cubiertas de alta flotación) a 160 kPa (cubiertas radiales simples) (Wood *et al.*, 1991). En consecuencia, el grado y la extensión de la densificación del suelo es de esperar que sea mayor cuando es causada por animales que cuando lo es por tractores.

En este sentido, Touchton *et al.* (1989) detectaron compactación producida por animales a una profundidad de 50 cm, mientras que el efecto del tráfico de maquinarias en el mismo suelo alcanzó sólo a 25 cm. Hill y Meza-Montalvo (1990) reportaron que el tráfico en "tram-lines" durante 14 años causó una compactación que se extendió hasta 30 cm de profundidad. Wood *et al.* (1993) encontraron que el tráfico de vagones de grano pesados, con presiones de inflado de 210 kPa, ocasionaron cambios en las propiedades físicas del suelo hasta una profundidad de 40 cm.

Los daños sobre el suelo pueden ser minimizados evitando el tráfico sobre suelo húmedo. Proffitt *et al.* (1995) encontraron que el pastoreo continuo con ovejas de una pastura aumentó la densidad de un suelo franco arcilloso en 7 % y redujo la capacidad de infiltración de agua del mismo a un 58 % de la del testigo sin pastoreo. Sin embargo, cuando las ovejas fueron retiradas cada vez que el contenido de humedad del suelo alcanzaba el límite plástico, el deterioro de las propiedades físicas fue mucho menos pronunciado que con pastoreo continuo.

El grado de compactación también puede ser controlado mediante la selección del tipo de rodado. Brown *et al.* (1992) reportaron que un grupo de tractores con ruedas aplicaron una presión sobre el suelo de 125 kPa, mientras que aquellos con bandas u "orugas" tuvieron una presión de solamente 40 kPa. Debido a una distribución más uniforme de la fuerza, las bandas de metal son generalmente menos dañinas que las de goma (Marsili y Servadio, 1996). El uso de cubiertas de lata flotación (Wood *et al.*, 1991) es otra forma de reducir las fuerzas compactivas aplicadas sobre los suelos.

Compactación del suelo inducida por las raíces de las plantas

Los órganos subterráneos de las plantas también causan compactación del suelo debido a su expansión radial. Dexter (1987) propuso un modelo para describir este proceso. Sus principales supuestos fueron los siguientes: a) el volumen que ocupa una raíz corresponde a una disminución de igual magnitud en el volumen del espacio poroso que rodea a la raíz; b) el suelo adyacente a la raíz es comprimido hasta la mínima porosidad posible, la cual es una constante para un suelo determinado; c) entre esta zona de mínima porosidad y el cuerpo del suelo, la porosidad aumenta exponencialmente; d) el exponente de esta relación se compone de una constante del suelo, que el autor estimó en 0,5 para el suelo artificial utilizado, multiplicada por la distancia relativa desde la superficie de la raíz; e) la distancia desde la raíz a la cual la densidad del suelo es afectada es proporcional al diámetro de la raíz. Este modelo fue posteriormente validado por Bruand *et al.* (1996) quienes trabajaron con datos obtenidos con raíces de maíz.

Los resultados de numerosos estudios realizados sobre los efectos del crecimiento de las raíces sobre la microestructura del suelo demuestran la ocurrencia de compresión del suelo alrededor de las mismas, y que el volumen ocupado se compensa

fundamentalmente con una disminución en el volumen de poros de mayor tamaño. Greacen *et al.* (1968) determinaron que el efecto de una radícula de arveja se extendió hasta una distancia de 8 a 10 veces el radio de la raíz. Misra *et al.* (1986), trabajando con raíces de arvejas, algodón y girasol con diámetros entre 0,4 y 1,0 mm, determinaron que la distancia a la cual las raíces deformaron el suelo plásticamente se extendió hasta al menos 15 mm. Blevins *et al.* (1970) también habían demostrado un descenso en el volumen de poros mayores a 50µm a una distancia de 0,4 desde las raíces de árboles. Bruand *et al.* (1996) también detectaron una reducción de 24 % en el volumen de macroporos del suelo adyacente a las raíces. Guidi *et al.* (1985) demostraron que la porosidad del suelo adherido a raíces de maíz era 13 % inferior a la del resto del suelo.

El efecto de las raíces sobre las propiedades físicas del suelo también ha sido observado macroscópicamente. Dexter *et al.* (1983) estudiaron la influencia de la presencia de un cultivo de trigo sobre la estructura de un suelo manejado con dos sistemas de laboreo. Encontraron que el trigo redujo el volumen de poros mayores a 0,5 mm en 24 % con respecto a las áreas no cultivadas. Al mismo tiempo, el tamaño medio de los agregados del suelo aumentó en 33 %. Willatt y Sulistyaningsih (1990) también demostraron que plantas de arroz aumentaron la resistencia de un suelo a la fractura de 2,7 a 4,9 kPa. La capacidad de carga del suelo, determinada con un penetrómetro de laboratorio, aumentó de 71 a 161 kPa.

Respuesta vegetal y adaptación al estrés causado por la compactación del suelo

Las plantas responden de varias formas a un ambiente físico de suelo hostil. Tanto los órganos subterráneos, que reciben una influencia directa, como las partes aéreas, que reciben señales desde el subsuelo, son afectados. Es conocido desde hace mucho tiempo que esta sincronía entre crecimiento aéreo y subterráneo, así como el crecimiento compensatorio de partes no afectadas del sistema de raíces, son consecuencia de la acción de reguladores de crecimiento (Russell, 1977). Sin embargo, es muy poco lo que se sabe acerca de los mecanismos detallados involucrados en las diversas respuestas.

Tardieu (1994) propuso que las respuestas de las plantas a la compactación del suelo estarían gobernadas por múltiples señales físicas y químicas actuando simultáneamente. Dichas señales serían: a) el proceso mecánico de resistencia en oposición a la presión de turgencia de las raíces; b) un mensaje químico, probablemente involucrando al etileno, que causa engrosamiento de las raíces como forma de vencer la resistencia mecánica; c) otro mensaje químico, probablemente involucrando a la hormona ABA (ácido abscísico), que induce el cierre de estomas en respuesta a la aglomeración de raíces, y que ayuda a conservar agua del suelo, aun cuando los contenidos de humedad son altos (Tardieu *et al.*, 1992); y d) otro mensaje químico, consistente en una acumulación de azúcares en los tejidos de la planta, que causa una reducción en la tasa de fotosíntesis. Ternesí (1994) suministró evidencias de que el confinamiento de raíces también inhibió el crecimiento aéreo de plantas de girasol, respuesta que fue probablemente intermediada por una señal química.

Estas señales enviadas por las raíces son emitidas aun antes del advenimiento de situaciones adversas. Passioura y Stirzaker (1993) describieron estos mecanismos preventivos como respuestas anticipadas ("feedforward") de las plantas frente a posibles condiciones adversas. Estos autores demostraron que las mismas pueden ser disparadas por determinadas condiciones del suelo, tales como un reducido volumen (efecto "Bonsai"), compactación, desecamiento incipiente, poros excesivamente grandes (suelo muy suelto) y temperatura reducida. Estas condiciones son percibidas por las plantas como síntomas de eventual carencia de recursos, en respuesta a lo cual pueden reducir o eliminar el crecimiento, y alterar su morfología.

La mayor parte del conocimiento acerca de las respuestas vegetales a la compactación se basa en lo que ocurre por debajo de la superficie del suelo. En las secciones siguientes se analiza la reacción de las raíces a su ambiente físico, con énfasis en los efectos de la resistencia mecánica y la disponibilidad de oxígeno.

Morfología y fisiología normal de las raíces

La mayoría de los estudios sobre raíces se ha dirigido a las monocotiledóneas, y en particular a las gramíneas, debido a su importancia económica. En estas especies, la mayor parte del crecimiento de las raíces ocurre a partir de los meristemos apicales, mientras que en las dicotiledóneas, además de la extensión y ramificación desde los meristemos, el crecimiento también ocurre en forma de engrosamiento como consecuencia de la actividad cambial. Desde el punto de vista de las funciones de absorción de agua y nutrientes, el crecimiento asociado con la actividad meristemática es el de mayor interés.

En una misma planta coexisten varios tipos de raíces. Las gramíneas tienen raíces seminales y adventicias. Las primeras incluyen a la raíz del embrión y a las que surgen de los nudos del embrión, mientras que las segundas son las que emergen luego del establecimiento de la planta, a partir de los nudos del tallo. Ambos tipos de raíces difieren en su morfología (Waisel y Eshel, 1991) y fisiología. Bole (1977) encontró que las raíces adventicias de trigo fueron más eficientes que las seminales en la absorción de agua y fósforo.

También se puede diferenciar entre ejes primarios y laterales. Los ejes principales de las raíces son usualmente más gruesos y crecen más rápidamente que las ramas. Russell (1977) indicó que las tasas típicas de crecimiento de raíces de cereales en condiciones favorables son de 2,0 (ejes principales), 0,5 (ramas primarias) y 0,1 cm/día (ramas secundarias). La longevidad de los ejes principales es también mayor que la de las ramificaciones (Fusseder, 1987). Debido a su crecimiento más rápido, la distancia entre el ápice de la raíz y la zona donde ocurre la total suberización de la endodermis es mayor para raíces principales que para las laterales. Esto hace a los ejes primarios más permeables al agua y menos selectivos por nutrientes que los ejes laterales (Waisel y Eshel, 1991). Las raíces adventicias tienen en general menos ramificaciones que las seminales, y esto explica su mayor eficiencia en la absorción de agua y nutrientes mencionada arriba.

Fitter *et al.* (1991) establecieron la existencia de dos modelos topológicos extremos para la descripción de raíces: el tipo “espina de pescado” (las ramificaciones ocurren solamente en el eje primario) y el modelo “dicotómico” (cada nudo tiene la misma probabilidad de generar una rama). Ellos concluyeron que el tipo “espina de pescado” tiene un mayor costo para su construcción y mantenimiento y para el transporte de agua y nutrientes, pero una mayor eficiencia de explotación (volumen de suelo explorado por unidad de masa de raíz), particularmente en lo que respecta a recursos móviles (agua y nitrógeno) que el tipo “dicotómico”. Fitter y Stickland (1991) encontraron que especies dicotiledóneas que crecen en suelos de baja fertilidad o aquellas nativas de suelos pobres tienden a tener largas distancias entre ramificaciones y sistemas de raíces más cercanos al tipo “espina de pescado”. Las raíces de especies anuales con alta demanda de nutrientes tienden a ser del tipo “dicotómico” (Fitter, 1991).

Yamauchi *et al.* (1987) compararon la estructura de las raíces de varias especies de cereales. Basándose en sus características morfológicas, identificaron cuatro grupos de especies. El arroz y otras especies fueron clasificados en uno de los extremos (tipo “concentrado”), con un alto número de raíces adventicias (más de 100 por planta) que tienen un bajo ángulo de inserción y raíces laterales relativamente finas y cortas. En el otro extremo (tipo “disperso”) incluyeron a trigo, maíz, cebada, sorgo, centeno y avena.

Este grupo tiene un relativamente bajo número de raíces adventicias (menos de 80) con amplios ángulos de inserción, y laterales largos, vigorosos y sumamente ramificados. El tipo “concentrado” se asocia con tolerancia a excesos hídricos, mientras que las plantas con raíces de tipo “disperso” son las más tolerantes a deficiencias hídricas. Los tipos “concentrado” y “disperso” se pueden asimilar a los modelos “espinas de pescado” y dicotómico”, respectivamente.

Las raíces que crecen en suelos sin restricciones pueden alcanzar tasas de extensión sumamente elevadas. Hackett y Rose (1972) desarrollaron un modelo para describir el crecimiento de una raíz seminal de cebada. En condiciones favorables, 23 días después de la siembra, la longitud total de una raíz seminal fue 720 cm. Los laterales de primer y segundo orden representaban 60 y 34 % de la longitud total, respectivamente. Como se discute en la sección siguiente, las tasas de crecimiento normalmente encontradas en condiciones de campo son mucho menores que las simuladas en este estudio.

Crecimiento de las raíces en el suelo

Las raíces crecen a impulso de la presión de turgencia en las células meristemáticas. Para que haya crecimiento, esta presión debe superar dos resistencias: la ofrecida por la rigidez de las paredes celulares, y la impuesta por los sólidos del suelo (Dexter, 1987b; Greacen y Oh, 1972).

La máxima presión que las raíces pueden ejercer es entre 0,7 y 1,3 MPa en la dirección axial, y entre 0,4 y 0,6 MPa en la dirección radial (Gill y Bolt, 1955; Misra *et al.*, 1986b). Por consiguiente, si la resistencia del medio supera dichos límites, sería de esperar que no hubiera crecimiento. Sin embargo, el proceso es en la realidad mucho más complejo debido a la naturaleza porosa y a la heterogeneidad de los suelos.

La presión que ejercen las raíces depende de factores exógenos. Ha sido demostrado que la misma aumenta con la resistencia del suelo (Schuurman, 1965) y también con el tamaño de los agregados que son atravesados (Misra *et al.*, 1986a). La resistencia ofrecida por el medio puede ser sustancialmente reducida por la presencia de un sistema continuo de poros de gran dimensión, aun en el caso de que la resistencia de la matriz del suelo sea muy alta (Goss *et al.*, 1984). El tamaño de los espacios porosos del suelo varía entre $2-3 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ (distancia entre placas de arcilla) y unos pocos centímetros (rajaduras). Las raíces pueden penetrar poros de diámetro mayor que su ancho o ensanchar poros algo menores por compactación radial (Dexter, 1987a), siempre y cuando la resistencia mecánica del suelo no sea demasiado alta. Los diámetros de las raíces de plantas anuales varían entre 20 μm (ramas de segundo orden en gramíneas) y más de 1 cm (raíces pivotantes de dicotiledóneas) (Hamblin, 1985). Dado que las raíces no pueden reducir su diámetro para atravesar poros estrechos (Wiersum, 1957), el tamaño mínimo de poros que es útil para el crecimiento de raíces está determinado por el diámetro de las raíces y la compresibilidad del suelo. La proporción de poros mayores a 100 μm (Gibbs y Reid, 1988) ó 50 μm (Goss, 1977) ha sido propuesta como un indicador de la capacidad de un suelo para soportar el desarrollo de raíces.

Si bien el crecimiento de las raíces resulta directamente de la presión en sentido axial, las fuerzas radiales también tienen una influencia importante: a) son responsables del ensanchamiento de los poros de tamaño algo menor al de las raíces (Greacen *et al.*, 1968; Dexter, 1987a; Schuurman, 1965); b) estas fuerzas pueden reducir la resistencia al causar una fractura del suelo delante del ápice de la raíz (Abdalla *et al.*, 1969; Whiteley *et al.*, 1981), con una efectividad que depende de la resistencia del suelo a la fractura, y de la distancia entre el punto de engrosamiento y el meristemo apical; c) el ensanchamiento de la raíz aumenta la fuerza total aplicada en la dirección axial al aumentar el área de la sección transversal (Abdalla *et al.*, 1969; Barley *et al.*, 1965; Gill y Bolt, 1955); y d) se aumenta la fricción entre raíz y suelo, lo cual mejora el anclaje para ejercer la fuerza longitudinal (Stolzy y Barley, 1968).

Impedancia mecánica y crecimiento de las raíces

La resistencia o impedancia mecánica del suelo, medida con un penetrómetro, ha sido correlacionada con penetración de raíces. Taylor y Gardner (1963) y Taylor *et al.* (1966) demostraron que esta relación fue la misma para un amplio rango de tipos de suelo, contenidos de humedad y densidad aparente, lo cual sugiere que se trata de una relación fundamental. Si bien la resistencia a la penetración de un cono es una determinación empírica, igualmente integra muchos, aunque no todos, los factores que regulan la resistencia mecánica del suelo.

Los diversos trabajos de investigación realizados han prestado considerable atención a los valores críticos de RP por encima de los cuales no se produce crecimiento de raíces. Considerando una amplia gama de tipos de suelo, especies vegetales y técnicas experimentales, los valores críticos de RP han variado entre 1,0 y 5,6 MPa (Bengough y Mullins, 1991; Camp y Lund, 1968; Cockroft *et al.*, 1969; Ehlers *et al.*, 1983; Gerard *et al.*, 1982; Grimes *et al.*, 1975; Martino y Shaykewich, 1994; Taylor y Gardner, 1963; Taylor *et al.*, 1966; Vepraskas y Wagger, 1989; Yapa *et al.*, 1990). Esta amplia variación sugiere que la RP medida con un penetrómetro no contempla todos los factores físicos del suelo que afectan el desarrollo de las raíces.

Gerard *et al.* (1982) determinaron que el valor crítico de RP decrecía a medida que el contenido de arcilla del suelo aumentaba, mientras que lo opuesto fue reportado por Vepraskas y Wagger (1989). Ello sugiere que la relación entre contenido de arcilla y RP crítica no es causal, y que algún otro factor asociado al contenido de arcilla, como por ejemplo la distribución de tamaño de poros, es la variable fundamental que determina las variaciones en la RP crítica. Si el suelo presenta un sistema continuado de poros de gran tamaño, el crecimiento ocurre aun si la RP es alta. Esta podría ser la razón por la cual los valores críticos de RP parecen ser mayores cerca de la superficie que en horizontes inferiores del suelo (Gerard *et al.*, 1982; Grimes *et al.*, 1975; Vepraskas y Wagger, 1989).

Los valores de RP crítica mencionados arriba son hasta seis veces mayores que las máximas presiones que las raíces pueden aplicar. Whiteley *et al.* (1981) utilizaron penetrómetros de forma y tamaño similares a los de las raíces, y determinaron que la RP crítica fue entre tres y cinco veces mayor que la presión de las raíces. La diferencia puede ser atribuida a la capacidad de las raíces para contorsionarse cuando encuentran obstáculos (Whiteley y Dexter, 1983), a la reducida fricción entre raíz y suelo (Cockroft *et al.*, 1969) y a la capacidad de las raíces para ejercer presiones radiales, lo cual ya fue discutido.

Por debajo del nivel crítico, la tasa de elongación de las raíces aumenta exponencialmente en la medida en que la RP disminuye. El efecto depresivo de la RP se manifiesta aun a muy bajos niveles de resistencia (Bengough y Mullins, 1991; Taylor y Gardner, 1963; Taylor *et al.*, 1966), y parece haber una gran variabilidad en la sensibilidad de las distintas especies a la RP. Taylor y Ratliff (1969) encontraron que un aumento en la RP de 0 a 1 MPa redujo la tasa de elongación de raíces de algodón y maní en 62 y 29 %, respectivamente. Barley *et al.* (1965) también encontraron diferencias entre especies: al aumentar la RP de 0,9 a 3,4 MPa, la longitud de raíces por plántula disminuyó de 14,2 a 2,1 cm (arvejas) y de 9,4 a 4,8 (trigo). Considerando que la fuerza aplicada por las raíces varía sólo dentro de un rango limitado (Gill y Bolt, 1955; Misra *et al.*, 1986b), la variabilidad interespecífica en la tolerancia a RP se relacionaría con el diámetro de las raíces y su interacción con la geometría de los poros del suelo. Las raíces fibrosas, dado su reducido diámetro, serían más aptas para desarrollarse en suelos con alta RP que las raíces pivotantes.

En estudios en los cuales la RP fue variada mediante modificación del potencial de agua en el suelo, el efecto de la impedancia mecánica sobre la elongación de las raíces puede haber sido distorsionado ya sea por un descenso en la disponibilidad de agua en

el extremo de alta RP (Mirreh y Ketcheson, 1973) o por el agotamiento de oxígeno causado por raíces que se acumulan inmediatamente por encima de una capa de suelo compactado (Asady y Smucker, 1989). Estos dos factores pueden haber tenido incidencia en la alta variabilidad observada en la respuesta del crecimiento de raíces a la RP.

A pesar de los inconvenientes relacionados con la rigidez de las sondas metálicas y su diferente forma, tamaño y velocidad de movimiento con respecto a las raíces, los penetrometros de cono han demostrado ser una valiosa herramienta experimental que provee satisfactorias estimaciones empíricas de la resistencia mecánica del suelo al crecimiento de raíces, particularmente si se combina con información acerca de la porosidad y la distribución del tamaño de los poros.

Respuesta vegetal a altas resistencias mecánicas del suelo

Las raíces, al ser sometidas a elevadas resistencias mecánicas, reducen su tasa de elongación e incrementan su diámetro (Atwell, 1990a; Barley, 1963; Wilson *et al.*, 1977), se vuelven contorsionadas (Kirkegaard *et al.*, 1992) y por momentos tienden a crecer horizontalmente (Taylor y Burnett, 1964). La producción de raíces laterales es estimulada (Veen, 1982), particularmente sobre el lado convexo de la curvatura (Goss y Russell, 1980). Veen (1982) encontró que las raíces laterales de maíz que se formaron en respuesta a la compactación del suelo eran más largas y ramificadas que los ejes principales. Goss y Russell (1980) demostraron que plantas de cebada sometidas a alta RP produjeron más macollos y raíces adventicias que las plantas testigo. Atwell (1990a), sin embargo, reportó que plantas de trigo que sufrían alta compactación del suelo demoraron la formación de macollos con relación a las plantas que crecían en suelo suelto.

La concentración interna de varios elementos y compuestos es también alterada por la compactación del suelo. En un estudio con plantas de trigo en la etapa de inicio de macollaje, Atwell (1990b) encontró que la concentración de azúcares y aminoácidos cerca de los ápices de las raíces aumentó como consecuencia de la compactación. Esto fue atribuido a una reducción en la elongación de las raíces, y provocó un incremento en la presión de turgencia. La concentración de azúcares en los tallos fue 21 % superior en plantas sometidas a compactación que en plantas no afectadas. La alta RP también estimula el exudado de diferentes sustancias. Boeuf-Tremblay *et al.* (1995) reportaron un incremento en la exudación de compuestos nitrogenados en plantas sometidas a compactación.

Los cambios morfológicos observados en raíces sometidas a alta RP no son solamente la consecuencia de procesos mecánicos, sino que están además regulados por mecanismos hormonales. Goss y Russell (1980) encontraron que radículas de maíz redujeron marcadamente su tasa de elongación durante un período de 10 minutos inmediatamente después de que sus ápices tocaron la matriz del suelo, y unos minutos más tarde recuperaron la velocidad anterior de crecimiento. Este enlentecimiento no fue observado cuando a las raíces se les extirpó los ápices. En otro experimento, los mismos autores aplicaron, durante cuatro días, una presión externa a raíces de cebada y remolacha azucarera, causando una disminución en la tasa de crecimiento. Cuando la presión fue retirada, las raíces recuperaron su velocidad de crecimiento recién tres días más tarde. Estas respuestas sugieren fuertemente el involucramiento de hormonas.

Wilson *et al.* (1977) analizaron las modificaciones en diversos tejidos de plantas de cebada sometidas a alta RP. Sus resultados se pueden resumir como sigue: a) los vasos del xilema no fueron afectados, excepto cerca del ápice de las raíces, donde sus diámetros fueron levemente reducidos; b) el diámetro del floema fue incrementado, principalmente debido a un mayor número de células; c) la longitud radial de las células de la endodermis se redujo en hasta 80 %, y el volumen de las células de la endodermis

se redujo a la mitad; d) la longitud tangencial de las células de la endodermis y el área superficial de endodermis por unidad de longitud de raíz aumentaron; e) el número y volumen total de las células de la corteza aumentó, pero hubo una disminución en el tamaño de las células de la capa interior de la corteza; y finalmente, f) el número y tamaño de las células epidérmicas aumentó. Resultados similares fueron reportados por Atwell (1990a).

Trabajando con raíces de cebada, Lipiec *et al.* (1991) encontraron que raíces sometidas a suelo compactado presentaban superficies rugosas. Esto fue atribuido a la distorsión en la forma de las células de la epidermis causada por la incrustación de partículas del suelo.

La compactación del suelo también produce cambios a nivel intracelular. Veen (1992) encontró que la compactación del suelo, además de modificar la forma de las células corticales de las raíces adventicias de maíz, produjo la deposición longitudinal de microfibrillas de celulosa en el interior de las paredes celulares. En plantas testigo estas microfibrillas se depositaron en dirección radial. Las raíces con microfibrillas orientadas longitudinalmente restringen el crecimiento axial y favorecen la expansión radial. En opinión de los autores, este cambio en la orientación de las microfibrillas de celulosa en respuesta a la impedancia mecánica del suelo puede haber sido causado solamente por acción del etileno.

El rol del etileno endógeno (formado dentro de la planta) en estas respuestas a la resistencia mecánica fue sugerido por Dawkins *et al.* (1983), quienes observaron mayores niveles de este gas en raíces creciendo en suelos compactados. La aplicación externa de etefón, una sustancia que rápidamente se convierte en etileno, produjo respuestas similares a las observadas en presencia de alta RP (Jackson, 1983). El etileno se forma en las plantas por oxidación del ácido amino-ciclopropano carboxílico (ACC) en respuesta a ciertas condiciones ambientales o a señales hormonales que estimulan la formación de la enzima ACC-sintetasa (Yang y Hoffman, 1984). Lachno *et al.* (1982) encontraron que la alta RP del suelo se asoció con una alta concentración de auxina en los ápices de las raíces. La formación de auxina puede perfectamente ser la primera reacción de las plantas a la alta resistencia mecánica del medio, aunque esto no está aun adecuadamente documentado.

Respuesta vegetal a bajas disponibilidades de oxígeno

El oxígeno es el aceptor final de electrones en el proceso respiratorio que ocurre normalmente en los suelos. En condiciones de excesos de humedad, el oxígeno se consume rápidamente, y otros aceptores de electrones son utilizados alternativamente, lo cual trae como consecuencia la acumulación de diversas sustancias (ácidos orgánicos, metano, etileno, sulfuro y anhídrido carbónico) que pueden resultar tóxicas para las plantas (Cannell y Jackson, 1981; Russell, 1977). Como consecuencia de la baja eficiencia energética de la respiración anaeróbica, la disponibilidad de energía para las plantas se ve drásticamente reducida (Vartapetian, 1993).

La anaerobiosis provoca diversos cambios morfológicos y fisiológicos en las plantas (Kawase, 1981). Entre las respuestas morfológicas cabe mencionar las siguientes: marchitamiento, epinastia, clorosis de las hojas, senescencia prematura, inhibición de la elongación de los tallos, reducción en el crecimiento de las raíces, y formación de aerénquima (Russell, 1977). Las raíces sometidas a inundación son más cortas, rectas y ramificadas que aquellas que se desarrollan en suelos bien aireados (Feldman, 1984). Las especies originarias de suelos húmedos, como el arroz, presentan adaptaciones especiales tanto morfológicas (aerénquima congénito) como fisiológicas (un metabolismo energético más eficiente) que les confieren tolerancia a la anaerobiosis.

Las raíces adventicias de trigo desarrollado en suelos bien aireados tienen espacios porosos internos mayores que los de las raíces seminales. Esto sugiere que las primeras son más importantes que las segundas para la sobrevivencia en condiciones de inundación intermitente (Erdmann *et al.*, 1986). Thomson *et al.* (1990) encontraron que las raíces seminales y adventicias de trigo con menos de 10 cm de longitud desarrollaron tejido aerénquimatoso luego de ser expuestas a suelo anaeróbico durante varias horas, lo cual no sucedió con raíces más largas.

La habilidad para aumentar la porosidad de las raíces en respuesta a la anoxia difiere entre (van Noordwijk y Brouwer, 1993) y dentro de las especies. Yu *et al.* (1969) estudiaron los efectos de la inundación sobre las raíces de varias especies de cultivos. La tasa de respiración por unidad de masa de raíz fue máxima para trigo y mínima para cebada, mientras que maíz y girasol presentaron valores intermedios. Dicha tasa estuvo inversamente relacionada con la porosidad de las raíces, que fue de 2,4 % en cebada, y más de 10 % en volumen en los otros cultivos. De los dos cultivares de trigo utilizados, uno demostró una notable capacidad para formar aerénquima en respuesta a la anoxia. Erdmann y Wiedenroth (1986) demostraron que los trigos modernos y sus especies antecesoras reducen el crecimiento de sus raíces y órganos aéreos en respuesta a la inundación, pero los primeros son menos afectados que los segundos debido a su capacidad para adaptarse a esas condiciones, principalmente a través de la formación de aerénquima.

Como consecuencia de la baja aireación, las raíces de trigo han acelerado la producción de raíces adventicias y la ramificación de las zonas proximales de las raíces seminales (Wiedenroth y Edermann, 1985). Esto puede ser interpretado como un mecanismo de renovación del sistema de raíces, con nuevas raíces desarrollándose cerca de la superficie del suelo, donde la probabilidad de ocurrencia de deficiencia de oxígeno es mínima.

Existen sólidas evidencias para afirmar que el etileno juega un papel central en la regulación de las respuestas vegetales a la anoxia (Jackson, 1985). El etileno es normalmente producido por las raíces. En suelos aireados, este gas difunde con facilidad, pero en suelos con excesos de humedad se acumula causando inhibición de crecimiento y otras respuestas adaptativas (Feldman, 1984). El etileno también es producido en suelos inundados (Smith y Robertson, 1969), y este etileno generado en el suelo también puede tener influencia en las respuestas de las plantas. Un estudio más reciente (Jackson *et al.*, 1994) demostró que la cantidad de ACC, el precursor biosintético del etileno, transferido desde las raíces hacia los tallos de plantas de tomate se incrementó marcadamente unas seis horas luego de aplicado el tratamiento de inundación. Inmediatamente se detectaron síntomas como epinastia de pecíolos, lo cual sugiere que el ACC fue rápidamente oxidado a etileno en los tallos.

En monocotiledóneas sin embargo, las evidencias de un rol del ACC o del etileno en las respuestas adaptativas a la anoxia son más débiles. Larsen *et al.* (1986) no detectó ningún cambio en las concentraciones de ACC y etileno en plantas de cebada luego de ser sometidas a inundación. Jackson (1994), por otra parte, demostró la existencia de una conexión entre la síntesis de etileno y la formación de aerénquima en plantas de maíz.

Los cultivos pueden sufrir serias pérdidas de rendimiento debidas a los excesos hídricos. Cannell *et al.* (1984) reportaron que los rendimientos de trigo y cebada invernales sometidos a excesos de agua durante el invierno fueron 30 y 24 % menores, respectivamente, que los correspondientes a cultivos en suelos bien drenados. En Australia, Watson *et al.* (1976) reportaron pérdidas de grano atribuibles a excesos intermitentes de agua de 40, 39 y 48 % para trigo, cebada y avena, respectivamente.

Manejo de condiciones físicas de suelo adversas en sistemas de siembra directa

Tradicionalmente, diversas prácticas de laboreo han sido la principal herramienta para mitigar problemas de compactación del suelo. Sin embargo, la mejora en la estructura lograda a través del laboreo es en general transitoria, particularmente en suelos degradados, con bajo contenido de materia orgánica y pobre estabilidad de agregados (Dexter, 1991). La reiteración de laboreos en el tiempo conduce a un proceso de degradación de la estructura en el mediano y largo plazo.

La actual tendencia mundial hacia la adopción de sistemas agrícolas basados en la siembra directa de los cultivos que, como se discutió antes, puede implicar la ocurrencia de crecientes problemas de compactación, hace necesario buscar nuevas alternativas para lidiar con el problema. En esta sección se presenta el estado actual del conocimiento y las tendencias para futuros desarrollos en este sentido.

Aflojamiento mecánico del suelo: el “Paraplow”

Los subsoladores se han usado para reducir la compactación del suelo durante mucho tiempo. Los subsoladores convencionales remueven el suelo en gran medida y, en consecuencia, no son compatibles con el concepto de sistemas conservacionistas.

La efectividad del subsolado, que ha sido reiteradamente demostrada en suelos labrados (Vepraskas y Miner, 1986), sería aun mayor en sistemas de labranza reducida, como fue demostrado por Busscher y Sojka (1987). Ello puede estar relacionado con la propiedad tixotrópica de los suelos (Dexter, 1991), por la cual los suelos que han sufrido fracturas o moldeado por el laboreo o el tráfico de rodados, son más débiles que suelos indisturbados, aun al mismo contenido de humedad y densidad aparente.

El Paraplow, una herramienta de subsolado desarrollada en Inglaterra hace dos décadas (Pidgeon, 1982), puede ser utilizado para aflojar suelos compactados hasta una profundidad de 50 cm, con muy escasa disturbación de la superficie. Por lo tanto, es una herramienta que puede ser utilizada en sistemas de siembra directa.

Descripción del Paraplow

El Paraplow (Figura 2) consiste en un número de timones montados sobre una barra que tiene una inclinación de 45° con respecto a la dirección de avance en el plano horizontal. Los timones también tienen un ángulo de 45° con respecto a la vertical, y tienen puntas de cincel algo más anchas que el cuerpo del timón. Por encima y detrás de cada punta se ubica una placa de inclinación ajustable. Sobre la barra portaherramientas también se montan grandes discos que cumplen la función de cortar los residuos sobre la superficie del suelo.

La inclinación de los timones produce un levantamiento del suelo a medida que el Paraplow se mueve hacia adelante, ocasionando la fractura del suelo por sus planos de debilidad natural y dejando la superficie apenas disturbada. Las placas ajustables producen un levantamiento adicional y cierto movimiento lateral del suelo el cual, luego del pasaje de la herramienta cae conformando una nueva estructura sin ser invertido.

El requerimiento de potencia de tiro, de acuerdo a lo establecido por los fabricantes, varía entre 20 y 30 kW por timón. No hay muchos estudios científicos que hayan evaluado este aspecto. Karlen *et al.* (1991) estudiaron los requerimientos energéticos de diferentes implementos de laboreo profundo, incluyendo al Paratill, que es una herramienta similar

Figura 2. El Paraplow (adaptado de folletos comerciales)



al Paraplow, en un suelo arenoso franco. Esta herramienta, pasada a una profundidad de 40 cm en condiciones secas, requirió una potencia en la barra de 16,2 kW a una velocidad de avance de 0,84 m s⁻¹. El consumo de combustible fue de 22,7 L ha⁻¹. Con relación a este estudio,

el requerimiento energético es de esperar que sea menor en suelos con contenidos de humedad más altos y mayor en suelos de texturas más finas.

El Paraplow ha sido evaluado en una amplia gama de suelos desde arenosos francos hasta franco arcillosos. La profundidad de trabajo máxima es de 50 cm. Sin embargo, en la mayoría de los trabajos reportados en la literatura la profundidad de operación ha sido entre 30 y 35 cm. El espaciamiento entre timones es usualmente de 50 cm, y algunos estudios han reportado distancias de 76 cm, presumiblemente para lograr una coincidencia con la distancia entre filas de los cultivos. Prácticamente la totalidad de los reportes han demostrado efectos positivos sobre las propiedades físicas del suelo, efectos que tuvieron una residualidad de varios meses.

Efecto del Paraplow sobre la porosidad del suelo

El efecto más obvio del Paraplow sería una disminución en la densidad aparente del suelo asociado con un incremento en el volumen poroso. Nueve meses luego de haber pasado el Paraplow en un suelo franco limoso, Ehlers y Baeumer (1988) midieron una disminución

en la densidad aparente debido al subsolado de 1,4 a 1,3 Mg m⁻³ a una profundidad de 35 cm. Erbach *et al.* (1992) detectaron un efecto similar en cuatro suelos de pobre drenaje en Iowa. En Uruguay, sobre suelos franco limo-arcillosos, el Paraplow pasado a 45 cm de profundidad también disminuyó significativamente la densidad aparente, particularmente en la capa superior del horizonte B₁, efecto que tuvo una residualidad de hasta más de dos años (Martino, 1998).

Por otra parte, varios reportes indicaron pequeños o nulos efectos del Paraplow sobre la densidad aparente de los suelos (Braim *et al.*, 1984; Erbach *et al.*, 1984; Mukhtar *et al.*, 1985; Hipps y Hodgson, 1988a), aun cuando otras propiedades físicas sí fueron afectadas. Esto puede haberse relacionado con las deficiencias de los métodos para medición de densidad aparente en suelos removidos, que en general utilizan muestras

de tamaño muy reducido. La medición de densidad aparente en estos casos requeriría muestras sustancialmente grandes debido a la abundancia de poros de gran dimensión y rajaduras.

El aumento en la porosidad causado por el Paraplow se debe casi exclusivamente al efecto sobre los poros grandes. Hipps y Hodgson (1988a) reportaron un incremento de 7,8 a 13,3 % en el volumen de poros mayores a 60 μ m en un suelo franco areno-arcilloso. Pikul *et al.* (1990) también registraron un incremento en la macroporosidad de un suelo franco limoso seis meses después del pasaje de un Paraplow. En este caso, el volumen ocupado por macroporos pasó de menos de 1 % a entre 7 y 17 %, según la profundidad considerada.

Efecto del Paraplow sobre la capacidad de infiltración de agua del suelo

Otro efecto consistentemente observado del Paraplow es el incremento en la capacidad de infiltración de agua. Como fue mostrado por Hipps y Hodgson (1988a), muchas de las rajaduras formadas en el perfil del suelo después del pasaje del Paraplow se continúan hasta la superficie. El incremento en la macroporosidad y la continuidad del sistema poroso serían las principales causas del aumento en la capacidad de infiltración.

Mukhtar *et al.* (1985) estudiaron el efecto de varios sistemas de laboreo sobre la infiltración de agua en cuatro suelos a lo largo de una estación de cultivo. Promediando todos los sitios y fechas de muestreo, la infiltración acumulada en 1 minuto fue 2,44, 1,24 y 0,80 cm para los tratamientos con Paraplow, arado de rejas y cero laboreo, respectivamente. Los valores acumulados en 30 minutos fueron 28,6, 11,7 y 8,5 cm, respectivamente. Los valores fueron máximos en el tratamiento con Paraplow, a pesar de que este tratamiento tenía suelo con mayor contenido de humedad que los demás. Estas tendencias fueron observadas en los cuatro suelos. Pikul *et al.* (1990) evaluaron similares tratamientos en un suelo franco limoso. En este caso, las tasas finales de infiltración fueron 23,5, 22,8 y 9,3 mm h⁻¹ para Paraplow, arado de cincel y cero laboreo, respectivamente.

Clark *et al.* (1993) evaluaron la influencia de la frecuencia de pasadas de Paratill sobre las propiedades físicas de un suelo pesado erosionado. Las tasas de infiltración estabilizadas fueron 86, 42 y 14 mm h⁻¹ para el Paratill pasado uno, dos y tres años antes, respectivamente.

Los estudios realizados en Uruguay (Martino, 1998) también demostraron que uno de los principales efectos del Paraplow fue el incremento en la capacidad de infiltración de los suelos, lo cual fue de gran beneficio para los cultivos, especialmente en lo que respecta a la captación de agua de lluvias intensas de primavera y verano. Dos días después de una lluvia de 90 mm, la cantidad de agua total en los 45 cm superficiales del suelo fue de 123 y 142 mm para los tratamientos testigo y subsolado, respectivamente. Considerando solamente el agua disponible, los respectivos valores fueron 31 y 56 mm.

Los subsoladores convencionales, y el Paraplow combinado con laboreo convencional (McConkey *et al.*, 1997) también han mejorado la capacidad de infiltración. Sin embargo, debido a la baja estabilidad de agregados, el desprendimiento de partículas del suelo tiende a obturar los macroporos (Dexter *et al.*, 1987), y la capacidad de infiltración decrece rápidamente en el tiempo. Ehlers y Baeumer (1988) encontraron que la tasa estabilizada de infiltración en un suelo franco limoso fue de 20 y 0 cm día⁻¹ para los tratamientos de Paraplow y arado de rejas, respectivamente, aplicados seis meses antes.

Efecto del Paraplow sobre la humedad del suelo

Los cambios en la porosidad causados por el Paraplow influyen sobre la dinámica de agua del suelo en varias formas opuestas. En primer lugar, los efectos positivos sobre

la tasa de infiltración discutidos en la sección anterior afectan la cantidad de agua que entra al suelo. En segundo término, la actividad de las raíces es mejorada, promoviendo un incremento en el uso de agua por los cultivos, siempre y cuando la disponibilidad de agua lo permita. Finalmente, la mayor porosidad favorece la disipación de energía como calor latente a través de la evaporación de agua, lo que a su vez afecta el régimen térmico del suelo.

Si bien el Paraplow preserva en buena medida los residuos vegetales sobre la superficie del suelo, cierto grado de destrucción de los mismos es inevitable. Erbach *et al.* (1984) determinaron que el área cubierta por residuos fue de 83 % para cero laboreo, comparado con 75 % para siembra directa con Paraplow. Esta disminución en la cubierta de residuos también incrementaría la cantidad de energía de radiación que alcanza a la superficie del suelo y por consiguiente, la probabilidad de pérdida de agua por evaporación. Esos mismos autores no encontraron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la rugosidad de la superficie, aunque los valores de este parámetro fueron algo mayores para Paraplow que para el resto. La mayor rugosidad de la superficie del suelo podría conducir a una mayor turbulencia en la capa de aire junto a la superficie, y esto podría causar evaporación adicional.

En síntesis, el Paraplow incrementaría simultáneamente la intensidad de la evapotranspiración y de la infiltración. El balance entre estos procesos contrapuestos determina el contenido de humedad del suelo en un momento dado. Probablemente por esto, se constata una aparente inconsistencia en los efectos del Paraplow sobre la humedad del suelo en los diversos reportes publicados. Algunos autores (Braim *et al.*, 1984; Hipps y Hodgson, 1988) han encontrado que el Paraplow fue efectivo en reducir la incidencia de excesos de agua en climas húmedos. Otros (McConkey *et al.*, 1997) han resaltado las ventajas del Paraplow para capturar humedad en ambientes secos.

Los resultados obtenidos por Ehlers y Beaumer (1988) ilustran bien estos efectos. En un experimento de campo, el contenido de humedad del suelo al inicio de la estación de cultivo fue mayor para laboreo reducido que para Paraplow, particularmente cerca de la superficie. Un mes más tarde, después de un período seco, ambos tratamientos presentaban similar contenido de humedad. Y dos semanas más tarde, después de una lluvia de 60 mm, el suelo con Paraplow tenía mayor cantidad de agua almacenada por debajo de los 30 cm de profundidad. Esto fue atribuido a la mayor tasa de infiltración registrada.

Pikul *et al.* (1990) determinaron que un suelo con Paraplow poseía mayor capacidad para almacenar agua durante el invierno que el mismo suelo indisturbado. Ellos también notaron que durante períodos de vientos secos y cálidos, la evaporación de agua desde el suelo también fue más alta para Paraplow.

Clark *et al.* (1993) encontraron que el contenido de humedad del suelo era menor cuando se había pasado un Paratill un año antes que cuando el mismo implemento se había pasado dos y tres años antes. Este efecto fue atribuido a un mayor consumo de agua por el cultivo.

Varias publicaciones han indicado ausencia de efectos del Paraplow sobre la humedad del suelo. Mukhtar *et al.* (1985) y Erbach *et al.* (1992) no encontraron diferencias en el contenido volumétrico de agua entre cero laboreo y Paraplow en varios tipos de suelo y épocas del año. En el mismo sentido, Radford *et al.* (1992) también reportaron ausencia de efectos en un área seca de Australia.

Efecto del Paraplow sobre la resistencia mecánica del suelo

Considerando que el Paraplow modifica la densidad y el contenido de humedad que, como fue señalado anteriormente son los principales factores que regulan la resistencia mecánica del suelo, un importante efecto sobre ésta es también esperable. En efecto,

la mayoría de los reportes señalan una reducción en la RP de los suelos atribuible al Paraplow (Braim *et al.*, 1984; Erbach *et al.*, 1984; Hipps y Hodgson, 1987; Hipps y Hodgson, 1988a; Ehlers y Baeumer, 1988; Touchton *et al.*, 1989; Hodgson *et al.*, 1989; Chambers *et al.*, 1990; Clark *et al.*, 1993; Martino, 1998).

Braim *et al.* (1984) determinaron que el Paraplow fue tan efectivo como el arado de rejas en reducir la RP hasta 35 cm de profundidad. Inmediatamente luego de pasado el Paraplow, la RP fue de 0,3 MPa comparado con 1,2 MPa para el suelo indisturbado. Siete meses más tarde, ambos tratamientos tenían una RP de 0,6 y 1,1 MPa, respectivamente.

La caracterización de los efectos del Paraplow sobre la resistencia del suelo es dificultada por la alta variabilidad espacial y temporal de este parámetro. Hipps y Hodgson (1988a) registraron la proporción del volumen de suelo en cada una de ocho clases de valores de RP luego de pasar el Paraplow en un suelo franco arenoso-arcilloso. El subsolado incrementó el volumen de suelo con RP menor que 1,5 MPa de 35 a 87 %. Otra manera de expresar estos efectos es a través de la profundidad a la que se alcanza cierto umbral de RP. Hodgson *et al.* (1989) determinaron que el Paraplow incrementó la máxima profundidad de enraizamiento, medida como la profundidad a la cual la RP alcanzaba un valor de 2 MPa, de 23 a 32 cm.

Los penetrómetros son sumamente convenientes para la medición de la variabilidad espacial de los efectos del Paraplow. El máximo aflojamiento ha sido usualmente observado entre 20 y 35 cm de profundidad (Braim *et al.*, 1984; Busscher *et al.*, 1988; Ehlers y Baeumer, 1988; Hipps y Hodgson 1988a; Martino, 1998). Sin embargo, se aprecia cierta inconsistencia en cuanto a la posición horizontal de los efectos máximos. Busscher *et al.* (1984) registraron los mínimos valores de RP directamente por debajo del punto de inserción del Paratill en el suelo. Hipps y Hodgson (1988a) por otra parte, reportaron la ocurrencia del máximo efecto del Paraplow, considerando el plano perpendicular a la dirección de avance, en una zona ubicada por encima y al costado de la punta de cincel. Nuestros resultados en La Estanzuela (Martino, 1998) coinciden con estos últimos autores (Figura 3).

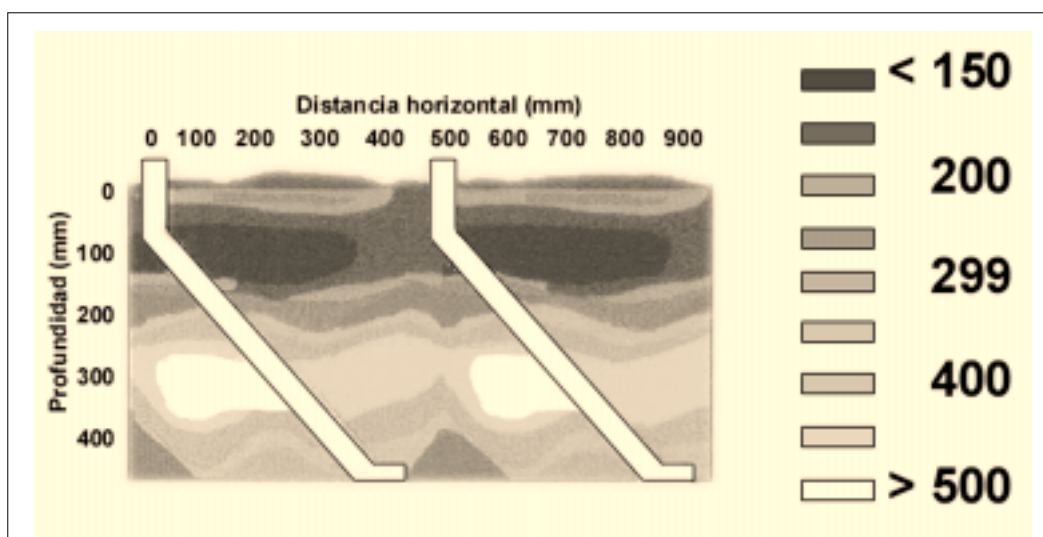


Figura 3. Efecto del Paraplow sobre la resistencia mecánica del suelo representado como la diferencia (MPa) entre tratamientos con y sin Paraplow en un plano perpendicular a la dirección de avance del implemento. Los valores corresponden a suelo húmedo, ocho meses luego de aplicados los tratamientos.

Efecto del Paraplow sobre los cultivos

Varios estudios han demostrado que el Paraplow es beneficioso para la implantación de cultivos bajo diversas circunstancias. Hipps y Hodgson (1988b) reportaron un incremento promedio de 7 % en la densidad de plantas de cebada debido al uso del Paraplow 11 meses previo a la siembra. Ello fue atribuido a un mejor contacto entre semilla y suelo en uno de los casos, y a un mejor drenaje del suelo. Resultados similares fueron obtenidos por Braim *et al.* (1984). Erbach *et al.* (1992), quienes trabajaron con cuatro suelos de texturas medias y pobre drenaje en Iowa, reportaron que las plantas de maíz emergieron más rápidamente con Paraplow que con cero laboreo, aunque los *stands* finales de plantas no fueron afectados. Este efecto fue relacionado con la menor cobertura vegetal del suelo con Paraplow, lo cual habría incrementado la temperatura del suelo. Por otra parte, Hipps y Hodgson (1987) no encontraron efectos sobre la emergencia de trigo.

En Uruguay, Martino (1998) encontró un marcado efecto positivo del Paraplow sobre la población de plantas de maíz (56 % de aumento), cebada (22 %) y trigo (14 %). Estos efectos se debieron principalmente a la mayor temperatura y a un mejor drenaje del suelo. No fueron registrados incrementos en la población de plantas de girasol en ninguno de los tres experimentos realizados con este cultivo.

La disponibilidad de nutrientes para las plantas también se ha demostrado que es aumentada por la acción del Paraplow. Braim *et al.* (1984) detectaron una mayor absorción de N por plantas de cebada en parcelas subsoladas que en las no disturbadas. Este efecto fue también comprobado por Hipps y Hodgson (1988b), y puede haber estado asociado con el hecho de que, como ya fue indicado previamente, el Paraplow mejora la aireación del suelo y la infiltración de agua en el mismo, promoviendo eventualmente una mayor mineralización de la materia orgánica. En otros estudios también se ha demostrado un incremento en la absorción de P y K debido al Paraplow, lo cual se atribuyó a una más eficiente exploración del suelo por las raíces (Ide *et al.*, 1984).

Un notorio efecto del Paraplow es la promoción del desarrollo de raíces debido a una reducida RP. Esto ha sido demostrado para trigo (Ehlers y Baeumer, 1988; Hipps y Hodgson, 1987; Hodgson *et al.*, 1989; Martino, 1998), cebada (Braim *et al.*, 1984; Hipps y Hodgson, 1988a; Martino, 1988) y maíz (Martino, 1998).

El trabajo de Hipps y Hodgson (1988a) brinda una buena ilustración de los efectos del Paraplow sobre las raíces. En este estudio, al comienzo del macollaje, las plantas de cebada presentaban una mayor densidad de raíces en los tratamientos con Paraplow (pasado 7 y 18 meses antes de la siembra) que en el testigo sin subsolado, aunque el tratamiento con laboreo convencional fue el que presentó máximas densidades de raíces. Al final del macollaje, el Paraplow había causado un incremento en la densidad de raíces de hasta 3000 ejes m⁻² (alrededor de 100 % de aumento) con respecto al testigo, efecto que se restringió a la capa de suelo entre 5 y 20 cm de profundidad. La longitud total de raíces al final del macollaje fue incrementada en 12 % en promedio de dos años (de 6900 a 7700 m m⁻²), lo cual resultó de la combinación de menor RP del suelo, incremento en el volumen de poros entre 60 y 300 µm de diámetro, y mayor población de plantas.

Como consecuencia de los efectos positivos del Paraplow sobre las propiedades físicas del suelo y sobre la implantación de los cultivos y desarrollo de raíces, es de esperar un efecto positivo sobre la productividad de los cultivos, lo cual ha sido reportado para varios cultivos. En dos estudios separados, los rendimientos de cebada aumentaron en 5 (Hipps y Hodgson, 1988b) y 19 % (Braim *et al.*, 1984), efecto enteramente debido a una mejora en la sobrevivencia de macollos y a una reducción en el aborto de espiguillas.

En suelos pobremente drenados, el Paraplow aumentó los rendimientos de maíz en 7 a 14 % (Erbach *et al.*, 1992). En este caso, dicho efecto se asoció con una mejor implantación de los cultivos. Reeder *et al.* (1993) también reportaron incrementos de rendimiento de maíz y soja atribuibles al Paraplow.

El efecto sobre los rendimientos de trigo ha sido sumamente variable, y principalmente dependiente del régimen de humedad. Hipps y Hodgson (1987) reportaron un incremento de 7 % en el rendimiento de trigo de invierno en un año, asociado a reducción en el exceso de agua, y ningún efecto en el año siguiente. Dos estudios realizados en áreas relativamente secas (McConkey *et al.*, 1997; Radford *et al.*, 1992) no encontraron efectos del Paraplow sobre la productividad de trigo. Hodgson *et al.* (1989) reportaron que el Paraplow utilizado en un suelo que había estado más de tres años sin laboreo causó una disminución de 6 % en el rendimiento de trigo, mientras que ningún efecto fue detectado en las parcelas en las que se había practicado laboreo convencional hasta el año anterior.

Sojka *et al.* (1997), trabajando en suelos australianos susceptibles a la compactación por pisoteo del ganado en un clima húmedo, constataron un incremento del rendimiento de forraje de avena de 18 %. También en este caso la mitigación del exceso de humedad fue la causa de dicho resultado.

Las respuestas en el rendimiento de los cultivos al uso del Paraplow en Uruguay han sido notoriamente mayores que las encontradas en la literatura. Este implemento causó aumento de la productividad de los cultivos en 11 de los 14 experimentos conducidos, que fue de 102, 36, 29 y 14 % en maíz, girasol, cebada y trigo, respectivamente (Martino, 1998, Figura 4). Las causas de estos aumentos en la productividad han sido un mejor establecimiento de maíz, cebada y trigo, mayor proliferación de raíces en los cuatro cultivos, mejor control de malezas en maíz, y un mayor número de granos por unidad de superficie en trigo y cebada, debido principalmente a mayor sobrevivencia de macollos y menor mortandad de espiguillas. Una pasada de Paraplow aumentó la productividad global de los tres cultivos subsiguientes en 25 a 53 %, con respecto al suelo sin subsolar. El subsolado practicado previo a cada cultivo no produjo ventajas significativas comparado con una pasada cada tres cultivos.

Laboreo biológico

Otro enfoque para evitar los problemas físicos del suelo en sistemas de siembra directa sería la explotación de la habilidad de ciertas especies para desarrollar sus raíces en suelos con altos niveles de compactación. Estas raíces producirían un sistema de canales en el suelo, el cual podría ser utilizado por las raíces de otros cultivos más susceptibles a la compactación. Dexter (1991) propuso el término "laboreo biológico" para denominar a este proceso, incluyendo también a la acción de organismos del suelo como las lombrices e insectos.

Varias especies vegetales han sido reportadas como adecuadas para este propósito: alfalfa (Blackwell *et al.*, 1990; Radcliffe *et al.*, 1986), colza (Shaffer *et al.*, 1990), trébol de olor (Bowen, 1981) y lupino (Atwell, 1988). Los mecanismos responsables por esta habilidad no son conocidos. Materechera *et al.* (1991) sugirieron que las raíces de las dicotiledóneas, que tienen grandes diámetros, son más aptas para penetrar suelos duros que las raíces de las monocotiledóneas. Estos autores compararon las respuestas de 22 especies a la compactación del suelo, encontrando que la tasa de elongación fue reducida en 97 % en cebada, trigo y avena, las tres especies más susceptibles, y en 88 % en lupino, la especie más tolerante.

Resultados preliminares obtenidos en La Estanzuela (Martino, sin publicar) han demostrado que la alfalfa y la achicoria desarrollaron sistemas de biocanales más

profundos que los de festuca, trébol rojo y trébol blanco. Ello ha resultado en una mayor capacidad de infiltración de agua. Aún no se ha evaluado los efectos de estas especies sobre la potencialidad productiva del suelo.

La alta estabilidad de los canales de las raíces se relacionaría con su orientación predominantemente vertical, lo cual los protegería del eventual sellado debido a fuerzas compactivas que también son verticales. La compresión localizada de las paredes de dichos canales por la acción de la presión radial ejercida por las raíces también contribuiría a la longevidad de los canales si el suelo no se laboreo. La ausencia de laboreo, la verticalidad del sistema de raíces y las presiones radiales ejercidas por las raíces son todos factores que conducen a la creación de un adecuado sistema de biocanales de larga duración en los suelos.

El proceso de laboreo biológico es sin dudas muy positivo en cuanto a la mejora en la capacidad de infiltración de agua, en el intercambio de gases entre suelo y atmósfera y en la penetrabilidad por las raíces. Sin embargo, los beneficios del laboreo biológico en cuanto a la posibilidad de lograr altas productividades en suelos altamente compactados están aun lejos de ser demostrados, y son motivo de diversas especulaciones.

Las dudas acerca de la eficacia de los canales creados en el suelo por las raíces se basan en varios hechos. En primer lugar, como fue demostrado por Whiteley y Dexter (1983), las raíces “prefieren” crecer a través de poros y rajaduras más que penetrar agregados de alta resistencia. Ello sugiere que el volumen de suelo que es efectivamente explorado por un sistema de raíces creciendo en suelos compactados sería muy limitado, aun cuando éstos presenten numerosos biocanales.

En segundo término, es posible asumir que las raíces de cultivos sucesivos que crecen a través de los mismos canales pueden agotar algunos nutrientes poco móviles en zonas localizadas del perfil del suelo, principalmente en las paredes de esos canales.

En tercer lugar, ha sido demostrado que los ápices de las raíces que crecen en poros grandes o rajaduras pueden percibir un pobre contacto con el suelo y generar señales hormonales que ocasionen inhibiciones del crecimiento general de la planta (Stirzaker *et al.*, 1996; Passioura y Stirzaker, 1993). Es necesario un gran esfuerzo de investigación para resolver éste y los otros problemas señalados anteriormente.

Explotación de la variabilidad genética de los cultivos

Ciertas características asociadas con resistencia o tolerancia a la resistencia mecánica o a la anoxia presentan variabilidad genética intraespecífica. Estas características podrían ser identificadas para seleccionar cultivares que puedan ser utilizados en ambientes con restricciones físicas del suelo.

La genética de los sistemas de raíces es muy poco conocida como consecuencia de los escasos esfuerzos de investigación realizados en el pasado. Zobel (1991) indicó la existencia de una amplia variabilidad genética en las características morfológicas de las raíces y en sus respuestas frente a variaciones en las condiciones ambientales, las cuales son reguladas generalmente por múltiples genes. Este autor resaltó la necesidad de nuevas herramientas estadísticas para separar la interacción genotipo por ambiente y para estimar la heredabilidad de dichas características.

Sharma y Lafever (1992) revelaron la existencia de una gran variabilidad genética en varias características de las raíces entre 42 cultivares de trigo, y que la longitud de las raíces era controlada por mecanismos genéticos aditivos. Masle (1992) también demostró que los cultivares modernos y especies antecesoras de trigo y cebada presentan importante variabilidad en características de las raíces asociadas con la tolerancia a alta resistencia mecánica de los suelos.

La alta resistencia mecánica y la deficiencia de oxígeno inducen respuestas similares en la morfología de las raíces, presumiblemente debido a que ambas estarían intermediadas por la síntesis de etileno en las plantas. Dado que la vía metabólica de la biosíntesis de etileno es bien conocida, y considerando que las enzimas ACC sintetasa y ACC oxidasa están reguladas por genes individuales, Ecker (1995) sugirió la posibilidad de manipular genéticamente a las plantas para controlar la síntesis de etileno y así inducir o evitar ciertas respuestas de las plantas.

Las dificultades metodológicas para la medición de raíces y el hecho de que el muestreo de raíces puede destruir valiosos materiales vegetales, son dos grandes obstáculos para la inclusión de características de raíces en los programas de mejoramiento genético. Un enfoque alternativo sería la selección de cultivares adaptados a condiciones de siembra directa. Sin embargo, diversos intentos en este sentido no han dado resultados positivos, presumiblemente en razón de la imposibilidad de detectar interacciones entre genotipo y ambiente (Cox, 1991; Hwu y Allan, 1992).

La interacción entre genotipo y sistema de laboreo medida en rendimiento de grano de trigo y cebada ha sido de escasa relevancia en estudios realizados en Uruguay (Martino, 1994). En otras variables, sin embargo, se ha apreciado cierto grado de interacción. En un trabajo realizado en La Estanzuela, se detectó variabilidad genética en la respuesta de la emergencia de plantas al incremento en la tasa de difusión de oxígeno. El cultivar de trigo Estanzuela Federal mostró una mayor habilidad para germinar en condiciones de baja disponibilidad de oxígeno (como las observadas en siembra directa) que otros cultivares (Martino, sin publicar). Este cultivar se caracteriza por tener semillas de reducido tamaño, lo cual podría implicar una menor demanda de oxígeno para el proceso germinativo que en cultivares con semillas más grandes. Esta puede haber sido la razón de la interacción observada, y estos resultados sugieren la posibilidad, que es necesario comprobar experimentalmente, de que los cultivares de semilla pequeña se adapten mejor a condiciones de siembra directa, en las que la incidencia de excesos hídricos sería mayor.

Literatura citada

- ABDALLA, A.M.; HERRIARATCHI, D.R.P. y REECE, A.R. 1969. The mechanics of root growth in granular media. *J. agric. Engng. Res.* 14:236-248.
- AKRAM, M. y KEMPER, W.D. 1979. Infiltration of soils as affected by the pressure and water content at the time of compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:1080-1086.
- ARMBRUSTER, K.; HERTWIG, A. y KUTZBACH, H.D. 1990. An improved design of cone penetrometer. *J. agric. Engng. Res.* 46:219-222.
- ARVIDSSON, J. y HÅKANSSON, I. 1996. Do effects of soil compaction persist after ploughing? Results from 21 long-term field experiments in Sweden. *Soil Till. Res.* 39:175-197.
- ASADY, G.H. y SMUCKER, J.M. 1989. Compaction and root modifications of soil aeration. *Soil Sci. Soc. Am.* 53:251-254.
- ATWELL, B.J. 1988. Physiological responses of lupin roots to soil compaction. *Pl. Soil* 111:277-281.
- 1990a. The effect of soil compaction on wheat during early tillering I. Growth, development and root structure. *New Phytol.* 115:29-35.
- 1990b. The effect of soil compaction on wheat during early tillering II. Concentrations of cell constituents. *New Phytol.* 115:37-41.
- 1993. Response of roots to mechanical impedance. *Environ. Exp. Bot.* 33:27-40

- AYERS, P.D. y BOWEN, H.D. 1987. Predicting soil density using cone penetration resistance and moisture profiles. *Trans. ASAE* 30:1331-1336.
- y PERUMPRAL. J.V. 1982. Moisture and density effect on cone index. *Trans. ASAE* 25:1169-1172.
- BAIRD, D.D.; UPCHURCH, R.P.; HOMESLEY, W.B. y FRANZ, J.E. 1971. Introduction of a new broad spectrum post-emergence herbicide class with utility for herbaceous perennial weed control. *Proceedings of the 26th North Central Weed Control Conference*, p. 64-68.
- BAKER, C.J.; SAXTON, K.E. y RITCHIE, W.R. 1996. *No-tillage seeding. Science and practice*. CAB International. University Press, Cambridge.
- BARLEY, K.P. 1963. Influence of soil strength on the growth of roots. *Soil Sci.* 96:175-180.
- y GREACEN, E.L. 1967. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of root and underground shoots. *Adv. Agron.* 19: 1-43.
- ; FARRELL, D.A. y GREACEN, E.L. 1965. The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots. *Aust. J. Soil Res.* 3: 69-79.
- BAR-YOSEF, B. y LAMBERT, J.R. 1981. Corn and cotton root growth in response to soil impedance and water potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 930-935.
- BENGOUGH, A.G. y MULLINS, C.E. 1990. The resistance experienced by roots growing in a pressurised cell. A reappraisal. *Pl. Soil* 123: 73-82.
- y MULLINS, C.E. 1991. Penetrometer resistance, root penetration and root elongation rate in two sandy loam soils. *Pl. Soil* 131:59-66.
- BLACKWELL, P.S.; GREEN, T.W. y MASON, W.K. 1990. Responses of biopore channels from roots to compression by vertical stresses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1088-1091.
- BLACKLOW, W.M. 1972. Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 12:647-650.
- BLEVINS, R.L.; HOLOWAYCHUCK, N. y WILDING, L.P. 1970. Micromorphology of soil fabric at tree root-soil interface. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:460-465.
- BOEUF-TREMBLAY, V.; PLANTUREUX, S. y GUCKERT, A. 1995. Influence of mechanical impedance on root exudation of maize seedlings at two development stages. *Pl. Soil* 172:279-287.
- BÖHM, W. 1979. *Methods of studying root systems*. Ecological Studies Vol. 33. Springer-Verlag, Berlin
- BOLE, J.B. 1977. Uptake of ³H₂O and ³²P by roots of wheat and rape. *Pl. Soil* 46:297-307.
- BOURGET, S.J.; FINN, B.J. y DOW, B.K. 1966. Effects of different soil moisture tensions on flax and cereals. *Can. J. Soil Sci.* 46:213-216.
- BOWEN, H.D. 1981. Alleviating mechanical impedance. **In:** Arkin, G.F. and Taylor, H.M. *Modifying the root environment to reduce crop stresses*. ASAE Monograph No.4., St. Joseph, Michigan, pp.18-57.
- BOWEN, G.D. 1991. Soil temperature, root growth, and plant function. **In:** Waisel, Y., Eshel, A. and Kafkafi, U., eds., *Plant roots: the hidden half*. Ch. 15, pp. 309-330. Marcel Dekker, Inc., New York.
- BRADFORD, J.M.; FARRELL, D.A. y LARSON, W.E. 1971. Effect of overburden pressure on penetration of fine metal probes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35:12-15.
- BRAIM, M.A.; CHANEY, K. y HODGSON. D.R. 1984. Preliminary investigation on the response of spring barley (*Hordeum sativum*) to soil cultivation with the Paraplow. *Soil Till. Res.* 4:277-293.

- BROWN, H.J.; CRUSE, R.M.; ERBACH, D.C. y MELVIN, S.W. 1992. Tractive device effects on soil physical properties. *Soil Till. Res.* 22:41-53.
- BRUAND, A.; COUSIN, I.; NICOUILLAUD, B.; DUVAL, O. y BÉGON, C. 1996. Backscattered electron scanning images of soil porosity for analyzing soil compaction around roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:895-901.
- BUSSCHER, W.J. y SOJKA, R.E. 1987. Enhancement of subsoiling effect on soil strength by conservation tillage. *Trans. ASAE* 30:888-892.
- ; KARLEN, D.L.; SOJKA, R.E. y BURNHAM, K.P. 1988. Soil and plant response to three subsoiling implements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:804-809.
- CAMP, C.R. y GILL, W.R. 1969. The effect of drying on soil strength parameters. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:641-644.
- CAMP, C.R. Jr. y LUND, Z.F. 1968. Effect of mechanical impedance on cotton root growth. *Trans. ASAE.* 11:188-190.
- CANNELL, R.Q. y JACKSON, M.B. 1981. Alleviating aeration stresses. **In:** Arkin, G.F. and Taylor, H.M. *Modifying the root environment to reduce crop stresses.* ASAE Monograph No. 4. ASAE, St. Joseph, Michigan. Ch. 5, pp. 141-192.
- , BELFORD, R.K.; GALES, K.; THOMSON, R.J. y WEBSTER, C.P. 1984. Effects of waterlogging and drought on winter wheat and winter barley grown on a clay and a sandy loam soil I. Crop growth and yield. *Pl. Soil* 80:53-66.
- CHAMBERS, R.; NATHO-JINA, S.; WEIL, C. y MCKYES, E. 1990. Crop rotations and subsoiling on compacted clay soils. American Society of Agricultural Engineers. 1990 International Summer Meeting. Columbus, Ohio. Paper 90-1102, pp. 1-11.
- CHAUDHARY, M.R.; GAJRI, P.R.; PRIHAR, S.S. y KHERA, R. 1985. Effect of deep tillage on soil physical properties and maize yields on coarse textured soils. *Soil Till. Res.* 6:31-44.
- CHRISTENSEN, N.B.; SISSON, J.B. y BARNES, P.L. 1989. A method for analyzing penetration resistance data. *Soil Till. Res.* 13:83-91.
- CLARK, R.L.; RADCLIFFE, D.E.; LANGDALE, G.W. y BRUCE, R.R. 1993. Soil strength and water infiltration as affected by paratillage frequency. *Trans. ASAE* 36:1301-1305
- COCKROFT, B., BARLEY, K.P. y GREACEN, E.L. 1969. The penetration of clays by fine probes and root tips. *Aust. J. Soil Res.* 7:333-348.
- COX, D.J. 1991. Breeding for hard red winter wheat cultivars adapted to conventional-till and no-till systems in northern latitudes. *Euphytica* 58:57-63.
- CROSSETT, R.N.; CAMPBELL, D.J. y STEWART, H.E. 1975. Compensatory growth in cereal root systems. *Pl. Soil* 43:673-683.
- CRUSE, R.M.; CASSEL, D.K.; STITT, R.E. y AVERETTE, F.G. 1981. Effect of particle surface roughness on mechanical impedance of coarse-textured soil materials. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:1210-1214.
- DA SILVA, A.P. y KAY, B.D. 1996. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. *Pl. Soil* 184:323-329.
- ; KAY, B.D. y PERFECT, E. 1994. Characterization of the least limiting water range. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1775-1781.
- DAVIES, J.A. e IDSO, S.B. 1979. Estimating the surface radiation balance and its components. **In:** Barfield, B.J. y Gerber, J.F., eds. *Modification of the aerial environment of plants.* ASAE Monograph No. 2, Ch. 3.3, pp. 183-210. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan.
- DAWKINS, T.C.K.; ROBERTS, J.A. y BRERETON, J.C. 1983. Mechanical impedance and root growth- The role of endogenous ethylene. **In:** Jackson, M.B. y Stead,

- A.D., eds., Growth regulators in root development, Monograph No. 10. British Plant Growth Regulator Group, Oxford, England. pp. 55-71.
- DEXTER, A.R. 1978. A stochastic model for the growth of root in-tilled soil. *J. Soil. Sci.* 29: 102-116.
- , 1987a. Compression of soil around roots. *Pl. Soil* 97:401-406.
- , 1987b. Mechanics of root growth. *Pl. Soil* 98:303-312.
- , 1991. Amelioration of soil by natural processes. *Soil Till. Res.* 20:87-100
- , RADKE, J.K. y HEWITT. 1983. Structure of a tilled soil as influenced by tillage, wheat cropping and rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:570-575.
- ECKER, J.R. 1995. The ethylene signal transduction pathway in plants. *Science* 268:667-675.
- EHLERS, W. y BAEUMER. K. 1988. Effect of the Paraplow on soil properties and plant performance. International Soil Tillage Research Organization, 11th International Conference. Edinburgh, Scotland. 2:637-642.
- , KÖPKE, U.; HESSE, F. y BÖHM, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Till. Res.* 3:261-275.
- ERBACH, D.C.; BENJAMIN, J.G.; CRUSE, R.M.; ELAMIN, M.A.; MUKHTAR, S. y CHOI, C.H. 1992. Soil and crop response to tillage with Paraplow. *Trans. ASAE* 35: 1347-1354.
- ; CRUSE, R.M.; ELAMIN, M.A.; MUKHTAR, S.; BENJAMIN, J.G. y CHOI, C.H. 1984. Soil condition and corn growth response to paraplowing. American Society of Agricultural Engineers, 1984 Summer Meeting. Knoxville, Tennessee. Paper 84-1013, pp.1-17.
- ERDMANN, B. y WIEDENROTH, E.M. 1986. Changes in the root system of wheat seedlings following root anaerobiosis II. Morphology and anatomy of evolution forms. *Ann. Bot.* 58:607-616.
- ; HOFFMANN, P. y WIEDENROTH, E.M. 1986. Changes in the root system of wheat seedlings following root anaerobiosis I. Anatomy and respiration of *Triticum aestivum* L.. *Ann. Bot.* 58:597-605.
- ERICKSON, A.E. 1982. Tillage effects on soil aeration. **In:** Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. ASA. Sp. Publ. 44:91-104
- FARRELL, D.A. y GREACEN, E.L. 1966. Resistance to penetration of fine metal probes in compressible soil. *Aust. J. Soil Res.* 4:1-17.
- FELDMAN, L.J. 1984. Regulation of root development. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 35:223-242.
- FITTER, A.H. 1991. Characteristics and functions of root systems. **In:** Waisel, Y., Eshel, A. y Kafkafi, U., eds., *Plant roots: the hidden half*. Ch. 1, pp. 3-25. Marcel Dekker, Inc., New York.
- , y STICKLAND, T.R. 1991. Architectural analysis of plant root systems 2. Influence of nutrient supply on architecture in contrasting plant species. *New Phytol.* 118:383-389.
- ; STICKLAND, T.R.; HARVEY, M.L. y WILSON, G.W. 1991. Architectural analysis of plant root systems 1. Architectural correlates of exploitation efficiency. *New Phytol.* 118:375-382.
- FREITAG, D.R. 1968. Penetration tests for soil measurements. *Trans. ASAE* 11:750-753.
- , 1979. History of wheels for off-road transport. *J. Teramech.* 16:49-68.
- FUSSEDER, A. 1987. The longevity and activity of the primary root of maize. *Pl. Soil* 101:257-265.

- GAY, C.; CORBINEAU, F. y COME, D. 1991. Effects of temperature and oxygen on seed germination and seedling growth in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Environ. Exp. Bot. 31:193-200.
- GARDNER, W.R. 1960. Dynamic aspects of water availability to plants. Soil Sci. 89:63-73.
- GERARD, C.J.; SEXTON, P. y SHAW, G. 1982. Physical factors influencing soil strength and root growth. Agron. J. 74:875-879.
- GIBBS, R.J. y REID, J.B. 1988. A conceptual model of changes in soil structure under different cropping systems. Adv. Soil Sci. 8:123-149.
- GILL, W.R. y BOLT, G.H. 1955. Pfeffer's studies on the root growth pressures exerted by plants. Agron. J. 47:166-168.
- GOSS, M.J. 1977. Effects of mechanical impedance on root growth in barley (*Hordeum vulgare* L.). I. Effects on the elongation and branching of seminal root axes. J. Exp. Bot 28: 96-111.
- ; EHLERS, W.; BOONE, F.R.; WHITE, I. y HOWSE, K.R. 1984. Effects of soil management practice on soil physical conditions affecting root growth. J. agric. Engng. Res. 30:131-140.
- GOSS, M.J. y RUSSELL, R.S. 1980. Effects of mechanical impedance on root growth in barley (*Hordeum vulgare* L.). III. Observations on the mechanism of response. J. Exp. Bot 31: 577-588.
- GRABLE, A.R. 1971. Effects of compaction in content and transmission of air in soils. Soil Sci. 9:769-779.
- GRANT, R.F. 1993. Simulation model of soil compaction and root growth II. Model performance and validation. Pl. Soil 150:15-24.
- GREACEN, E.L., 1960. Water content and soil strength. J. Soil Sci. 11:313-333.
- y OH, J.S. 1972. Physics of root growth. Nature 235:24-25.
- ; FARRELL, D.A. y COCKROFT, B. 1968. Soil resistance to metal probes and plant roots. Transactions of the 9th International Congress of Soil Science 9:769-779.
- GRIMES, D.W.; MILLER, R.J. y WILEY, P.L. 1975. Cotton and corn root development in two field soils of different strength characteristics. Agron. J. 67:519-523.
- GUIDI, G.; POGGIO, G. y PETRUZZELLI, G. 1985. The porosity of soil aggregates from bulk soil and from soil adhering to roots. Pl. Soil 87:311-314.
- GUPTA, S.C.; SHARMA, P.D. y DEFRANCHI, S.A. 1989. Compaction effects on soil structure. Adv. Agron. 42:311-338.
- HACKETT, C. y ROSE, D.A. 1972. A model on the extension and branching of a seminal root of barley, and its use in studying relations between root dimensions I. The model. Aust. J. biol. Sci. 25:669-679.
- HAMBLIN, A.P. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. Adv. Agron. 38:95-157.
- HANKS, R.J. 1992. Applied soil physics. Soil water and temperature applications. 2nd ed., Springer-Verlag, New York.
- HENDERSON, C.; LEVEETT, A. y LISLE, D. 1988. The effects of soil water content and bulk density on the compactability and soil penetration resistance of some Western Australia sandy soils. Aust. J. Soil Res. 26:391-400.
- HILL, R.L. y MEZA-MONTALVO, M. 1990. Long-term wheel traffic effects on soil physical properties under different tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:865-870.

- HILLEL, D. 1980. Fundamentals of soil physics. Academic Press, Toronto. pp. 217-224.
- HIPPS, N.A. y HODGSON, D.R. 1987. The effect of a slant-legged subsoiler on soil compaction and the growth of direct-drilled winter wheat. *J. Agric. Sci.* 109:79-85.
- y HODGSON, D.R. 1988a. Residual effects of a slant-legged subsoiler on same soil physical conditions and the root growth of spring barley. *J. Agric. Sci.* 110:481-489.
- y HODGSON, D.R. 1988b. Residual effects of a slant-legged subsoiler on shoot growth and grain yield of spring barley. *J. Agric. Sci.* 111:385-391.
- HODGSON, D.R.; HIPPS, N.A. y BRAIM, M.A. 1989. Direct drilling compared with ploughing for winter wheat grown continuously and the effects of subsoiling. *Soil Use Manag.* 5:189-194
- HWU, K.K. y ALLAN, R.E. 1992. Natural selection effects in wheat populations grown under contrasting tillage systems. *Crop Sci.* 32:605-611.
- IDE, G., HOFMAN, G., OSSEMERCT, C. y van RUYMBEKE, M. 1984. Root-growth response of winter barley to subsoiling. *Soil Till. Res.* 4:419-431.
- JACKSON, M.B. 1983. Regulation of root growth and morphology by ethylene and other externally applied substances. In: Jackson, M.B. y Stead, A.D., eds., *Growth regulators in root development*, Monograph No. 10. British Plant Growth Regulator Group, Oxford, England. pp. 103-116.
- , 1985. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 36:145-174.
- , 1994. Root-to-shoot communication in flooded plants: involvement of abscisic acid, ethylene, and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Agron. J.* 86:775-782.
- ; ATTWOOD, P.A., BRAILSFORD, R.W., COUPLAND, D., ELSE, M.A., ENGLISH, P.J. y SUMMERS, J.E. 1994. Hormones and root-shoot relationships in flooded plants - an analysis of methods and results. *Pl. Soil* 167:99-107.
- JAYAWARDANE, N.S. y BLACKWELL, J. 1990. Use of the neutron method in assessing the changes in soil strength of undisturbed and ameliorated transitional red-brown earths during soil drying cycles. *Aust. J. Soil Res.* 28:167-176.
- KARLEN, D.L.; BUSSCHER, W.J.; HALE, S.A.; DODD, R.B.; STRICKLAND, E.E. y GARNER, T.H. 1991. Drought condition energy requirement and subsoiling effectiveness for selected deep tillage implements. *Trans. ASAE* 34:1967-1972.
- KAWASE, M. 1981. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. *HortSci.* 16:8-12.
- KIRKEGAARD, J.A.; TROEDSON, R.J.; So, H.B. y KUSHWAHA, B.L. 1992. The effect of compaction on the growth of pigeonpea on clay soils II. Mechanisms of crop response and seasonal effects on an oxisol in a humid coastal environment. *Soil Till. Res.* 24:129-147.
- KLUTE, A. 1986. Methods of soil analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Series N° 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- KOOLEN, A.J. y VAANDRAGE, P. 1984. Relationships between soil mechanical properties. *J. Agric. Eng. Res.* 29:313-319.
- LACHNO, D.R.; HARRISON-MURRAY, R.S. y AUDUS, L.J. 1982. The effects of mechanical impedance to growth on the levels of ABA and IAA in root tips of *Zea mays* L.. *J. Exp. Bot.* 33:943-951.
- LARSEN, O.; NILSEN, H.G. y AARNES, H. 1986. Response of young barley plants to waterlogging, as related to concentration of ethylene and ethane. *J. Plant Physiol.* 122:365-372

- LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. y USECHE, R.A. 1980. Compression of agricultural soils from eight soil orders. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:450-457.
- LEMON, E.R. y ERICKSON, A.E. 1952. The measurement of oxygen diffusion in the soil with a platinum microelectrode. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 16:160-163.
- LETEY, J. 1985. Relationship between soil properties and crop production. *Adv. Soil Sci.* 1:273-294.
- , 1991. The study of soil structure: science or art. *Aust. J. Soil Res.* 29:699-707.
- LÓPEZ-CASTAÑEDA, C.; RICHARDS, R.A.; FARQUHAR, G.D. y WILLIAMSON, R.E. 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Sci.* 36:1257-1266.
- LIPIEC, J.; HÅKANSSON, I.; TARKIEWICZ, S. y KOSSOWSKI, J. 1991. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. *Soil Till. Res.* 19:307-317.
- McCONKEY, B.G.; ULRICH, D.J. y DYCK, F.B. 1997. Slope position and subsoiling effects on soil water and spring wheat yield. *Can. J. Soil Sci.* 77:83-90.
- MARTINO, D.L. 1994. Jornada de Cultivos de Invierno. INIA La Estanzuela.
- , 1998. Alleviation of soil physical constraints in direct-seeding systems in Uruguay. Tesis Ph.D. University of Manitoba, Canada.
- , y Shaykewich, C.F. 1994. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Can. J. Soil Sci.* 74:193-200.
- MARSILI, A. y SERVADIO, P. 1996. Compaction effects of rubber or metal-tracked tractor passes on agricultural soils. *Soil Till. Res.* 37:37-45.
- MASLE, J. 1992. Genetic variation in the effects of root impedance on growth and transpiration rates of wheat and barley. *Aust. J. Pl. Physiol.* 19:109-125.
- MATERECHERA, S.A., DEXTER, A.R. y ALSTON, A.M. 1991. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. *Pl. Soil* 135:31-41.
- MIELKE, L.N., POWERS, W.L., BADRI, S. y JONES, A.J. 1994. Estimating soil water content from soil strength. *Soil Till. Res.* 31:199-209.
- MIRREH, H.F., y KETCHESON, J.W. 1972. Influence of soil bulk density and matric pressure on soil resistance to penetration. *Can. J. Soil Sci.* 52:477-483.
- y KETCHESON, J.W. 1973. Influence of soil water matric potential and resistance to penetration on corn root elongation. *Can. J. Soil. Sci.* 53:383-388.
- MISRA, R.K.; DEXTER, A.R. y ALSTON, A.M. 1986a. Penetration of soil aggregates of finite size II. Plant roots. *Pl. Soil* 94:59-85.
- ; DEXTER, A.R. y ALSTON, A.M. 1986b. Maximum axial and radial growth pressures of plant roots. *Pl. Soil* 95:315-326.
- MUKHTAR, S.; BAKER, J.L.; Horton, R. y ERBACH, D.C. 1985. Soil water infiltration as affected by the use of the Paraplow. *Trans. ASAE* 28:1811-1816.
- MWALE, S.S.; AZAM-ALI, S.N.; CLARK, J.A.; BRADLEY, R.G. y CHATHA, M.R. 1994. Effects of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Sci. Technol.* 22:565-571.
- NIMMO, J.R. 1997. Modelling structural influences on soil water retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:712-719.
- O'SULLIVAN, M.F.; DICKINSON, J.W., y CAMPBELL, D.J. 1987. Interpretation and presentation of cone resistance data in tillage and traffic studies. *J. Soil Sci.* 38:137-148.

- PASSIOURA, J.B. y STIRZAKER, R.J. 1993. Feedforward responses of plants to physically inhospitable soil. In: Buxton, D.R. *et al.*, eds., International Crop Science I, pp. 715-719. Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- PERFECT, E.; GROENEVELT, P.H.; KAY, B.D. y GRANT, C.D. 1990. Spatial variability of soil penetrometer measurements at the mesoscopic scale. *Soil Till. Res.* 16:257-271.
- PIDGEON, J.D. 1982. "Paraplow" - a rational approach to soil management. Proceedings of the 9th. Conference of the International Soil Tillage Research Organization. Osijek, Yugoslavia. pp. 633-638.
- PIKUL, Jr.J.L.; ZUZEL, J.F. y RAMIG, R.E. 1990. Effect of tillage-induced soil macroporosity on water infiltration. *Soil Till. Res.* 17:153-165.
- PROFFITT, A.P.B.; BENDOTTI, S. y MCGARRY, D. 1995. A comparison between continuous and controlled grazing on a red duplex soil. I. Effects on soil physical characteristics. *Soil Till. Res.* 35:199-210.
- RADCLIFFE, D.E.; CLARK, R.L. y SUMMER, M.E. 1986. Effect of gypsum and deep-rooting perennials on subsoil mechanical impedance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1566-1570.
- RADFORD, B.J.; GIBSON, G., NIELSEN, R.G.H., BUTLER, D.G., SMITH, G.D. y ORANGE, D.N. 1992. Fallowing practices, soil water storage, plant-available soil nitrogen accumulation and wheat performance in South West Queensland. *Soil Till. Res.* 22:73-93.
- RAGHAVAN, G.S.V.; ALVO, P. y MCKYES, E. 1990. Soil compaction in agriculture: a view toward managing the problem. *Adv. Soil Sci.* 11:1-36.
- REEDER, R.C.; WOOD, R.K. y FINCK, C.L. 1993. Five subsoiler designs and their effects on soil properties and crop yields. *Trans. ASAE* 36:1525-1531.
- RICHARDS, B.J. y GREACEN, E.L. 1986. Mechanical stresses on an expanding cylindrical root analogue in granular media. *Aust. J. Soil Res.* 24:515-532.
- ROSEMBERG, N.J.; BLAD, B.L. y VERMA, S.B. 1983. Microclimate: the biological environment. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
- ROSS, P.J.; WILLIAMS, J. y Mc. COWN, R.L. 1985. Soil temperature and the energy balance of vegetative mulch in the semi-arid tropics. II. Dynamic analysis of the total energy balance. *Aust. J. Soil Res.* 23:515-532.
- RUSSELL, R.S. 1977. Plant root systems: their function and interaction with the soil. McGraw-Hill, England.
- y GOSS, M.J. 1974. Physical aspects of soil fertility - The response of roots to mechanical impedance. *Neth. J. Agric. Sci.* 22:305-318.
- SAS INSTITUTE, 1985. SAS user's guide: Statistics. Version 5 edition. Cary, North Carolina.
- SCHUURMAN, J.J. 1965. Influence of soil density on root development and growth of oats. *Pl. Soil* 22:352-374.
- SELIM, H.M.; DAVIDOFF, B., FLUHLER, H. y SCHULIN, H. 1987. Variability of in situ measured mechanical impedance for a fragipan soil. *Soil Sci.* 144:442-452.
- SHAFFER, J.A.; FRITTON, D.D., JUNG, G.A. y STOUT, W.L. 1990. Control of soil physical properties and response of *Brassica rapa* L. seeding roots. *Pl. Soil* 122:9-19.
- SHARMA, R.C. y LAFEVER, H.N. 1992. Variation for root traits and their genetic control in spring wheat. *Euphytica* 59:1-8.
- SMITH, K.A. y ROBERTSON, P.D. 1971. Effect of ethylene on root extension of cereals. *Nature* 234:148-149.

- SOANE, B.D. y van OUWERKERK, C. 1994. Soil compaction problems in world agriculture. *In*: Soane, B.D. y van Ouwerkerk, C., eds. Soil compaction in crop production. Chapter 1. pp. 1-21. Elsevier Science, The Netherlands.
- SOJKA, R.E., BUSSCHER, W.J., GOODEN, D.T. y MORRISON, W.H. 1990. Subsoiling for sunflower production in the southeast coastal plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1107-1112.
- ; HORNE, D.J., ROSS, C.W. y BAKER, C.J. 1997. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil Till. Res.* 40:125-144.
- STIRZAKER, R.J.; PASSIOURA, J.B. y WILMS, Y. 1996. Soil structure and plant growth: impact of bulk density and biopores. *Pl. Soil* 185:151-162.
- STOLZY, L.H. y BARLEY, K.P. 1968. Mechanical resistance encountered by roots entering compact soils. *Soil Sci.* 105: 297-301.
- y LETEY, J. 1964. Correlation of plant responses to soil oxygen diffusion rates. *Hilgardia* 35:567-576.
- TARDIEU, F. 1994. Growth and functioning of roots and root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signalling? *Soil Till. Res.* 30:217-243.
- ; ZHANG, J. y DAVIES, W.J. 1992. What information is conveyed by an ABA signal from maize roots in drying field soil? *Pl. Cell Environ.* 15:185-191.
- TAYLOR, H.M. y BURNETT, E. 1964. Influence of soil strength on the root-growth habits of plants. *Soil Sci.* 98:174-180.
- y GARDNER, H.R. 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.* 96:153-156.
- y RATLIFF, L.F. 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. *Soil Sci.* 108:113-119.
- ROBERSON, G.M. y PARKER, J.J. 1966. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials. *Soil Sci.* 102:18-22.
- TERNESI, M. 1994. Root-shoot signalling in sunflower plants with confined root systems. *Pl. Soil* 163:31-36.
- THOMSON, C.J.; ARMSTRONG, W., WATERS, I. y GREENWAY, H. 1990. Aerenchyma formation and associated oxygen movement in seminal and nodal roots of wheat. *Pl. Cell Environ.* 13:395-403.
- TOUCHTON, J.T., REEVES, D.W. y DELANEY, D.P. 1989. Tillage systems for summer crops following winter grazing. *Proc. 1989 Southern Conservation Tillage Conference.* Tallahassee, Florida, pp. 72-75.
- VAN NOORDWIJK, M. y BROUWER, G. 1993. Gas-filled porosity in response to temporary low oxygen supply in different growth stages. *Pl. Soil* 152:187-199.
- VARTAPETIAN, B.B. 1993. Plant physiological responses to anoxia. *In* Buxton, D.R. *et al.*, eds., *International Crop Science I*, pp. 721-726. Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- VEEN, B.W. 1982. The influence of mechanical impedance on the growth of maize roots. *Pl. Soil* 66:101-109.
- VEIHMEYER, F.J. y HENDRICKSON, A.H. 1948. Soil density and root penetration. *Soil Sci.* 65: 487-493.
- y HENDRICKSON, A.H. 1949. Methods of measuring field capacity and wilting percentages of soils. *Soil Sci.* 68: 75-94.
- VEPRASKAS, M.J. y MINER, G.S. 1986. Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:423-427.

- y WAGGER, M.G. 1989. Cone index values diagnostic of where subsoiling can increase corn root growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1499-1505.
- VOORHEES, W.B.; FARRELL, D.A. y LARSON, W.E. 1975. Soil strength and aeration effects on root elongation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:948-953.
- WAISEL, Y. y ESHEL, A. 1991. Multifform behavior of various constituents of one root system. In: Waisel, Y., Eshel, A. y Kafkafi, U., eds., *Plant roots: the hidden half*. Ch. 3, pp. 39-52. Marcel Dekker, Inc., New York.
- WALDRON, L.J. y CONSTANTIN, G.K. 1970. Soil resistance to a slowly moving penetrometer. *Soil Sci.* 109:221-226.
- y DAKESSIAN, S. 1981. Soil reinforcement by roots: calculation of increased soil shear resistance from root properties. *Soil Sci.* 132:427-435.
- y DAKESSIAN S. 1982. Effect of grass, legume and tree roots on soil shearing resistance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:894-899.
- WARNAARS, B.C. y EAVIS, B.W. 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth. *Pl. Soil* 36:623-634.
- WATSON, E.R.; LAPINS, P. y BARRON, J.W. 1976. Effect of waterlogging on the growth, grain and straw yield of wheat, barley and oats. *Aust. J. Exp. Agric. An. Husb.* 16:114-122.
- WARRINGTON, I.J. y KANEMASU, E.T. 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod I. Seedling emergence, tassel initiation and anthesis. *Agron. J.* 75:749-754.
- WHITE, E.M. 1975. Soil compaction and contraction around plant roots. *Soil Sci.* 119:461-465
- WHITELEY, G.M., y DEXTER, A.R. 1983. Behaviour of roots in cracks between soil peds. *Pl. Soil* 74:153-162.
- WHITELEY, G.M.; UTOMO, W.H. y DEXTER, A.R. 1981. A comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots. *Pl. Soil* 61:351-364.
- WIEDENROTH, E.M. y ERDMANN, B. 1985. Morphological changes in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) following root anaerobiosis and partial pruning of the root system. *Ann. Bot.* 56:307-316.
- WIERSUM, L.K. 1957. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. *Pl. Soil* 9:75-85
- WILLATT, S.T. y SULISTYANINGSIH, N. 1990. Effect of plant roots on soil strength. *Soil Till. Res.* 16:329-336
- WILLIAMS, J. y SHAYKEWICH, C.F. 1970. The influence of soil water matric potential on the strength properties of unsaturated soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:835-840.
- WILSON, A.J.; ROBARDS, A.W. y GOSS, M.J. 1977. Effects of mechanical impedance on root growth in barley, *Hordeum vulgare* L. II. Effects on cell development in seminal roots. *J. Exp. Bot.* 28:1216-1227.
- WOOD, R.K., MORGAN, M.T., HOLMES, R.G., BRODBECK, K.N., CARPENTER, T.G. y REEDER, R.C., 1991. Soil physical properties as affected by traffic: single, dual, and flotation tires. *Trans. ASAE* 34:2363-2369.
- , REEDER, R.C., MORGAN, M.T. y HOLMES, R.G. 1993. Soil physical properties as affected by grain cart traffic. *Trans. ASAE* 36:11-15.

- WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1996. World resources. A guide to the global environment. 1996-97 edition. Oxford University Press, Washington D.C.
- YAMAUCHI, A.; KONO, Y. y TATSUMI, J. 1987. Comparison of root system structures of 13 species of cereals. *Japan. Jour. Crop Sci.* 56:618-631.
- YANG, S.F. y HOFFMAN, N.E. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 35:155-189.
- YAPA, L.G.G.; FRITTON, D.D. y WILLATT, S.T. 1988. Effect of soil strength on root growth under different water conditions. *Pl. Soil* 109:9-19.
- YU, P.T.; STOLZY, L.H. y LETEY, J. 1969. Survival of plants under prolonged flooded conditions. *Agron. J.* 61:844-847.
- ZOBEL, R.W. 1991. Genetic control of root systems. **In:** Waisel, Y., Eshel, A. and Kafkafi, U., eds., *Plant roots: the hidden half*. Ch. 2, pp. 27-38. Marcel Dekker, Inc., New York.
- ZWARICH, M.A. y SHAYKEWICH, C.F. 1969. An evaluation of several methods of measuring bulk density of soils. *Can. J. Soil Sci.* 49:241-245.

El agua y la siembra directa

por Hugo Juan Marelli*

Los primeros milímetros de una lluvia son almacenados por la cobertura vegetal como “intercepción”, y luego en las pequeñas depresiones del terreno. Con el agua en contacto con el suelo comienza el proceso de *infiltración* y *percolación*. La infiltración es la entrada del agua al suelo y la percolación es el movimiento interno del agua en el suelo principalmente hacia abajo (lo mismo que el drenaje), ambos controlan la penetración del agua en el perfil del suelo.

La percolación como la infiltración se limitan mutuamente. La capacidad de infiltración no puede exceder la capacidad de percolación, dado que para que continúe entrando el agua en el suelo la que ya penetró debe haber percolado o drenado. De la misma manera la tasa de drenaje o percolación no puede exceder la tasa de infiltración.

Cuando las demandas por intercepción, infiltración, retención y almacenamiento son cubiertas, comienza el *escurrimiento* del agua excedente cuando hay pendiente, o el *encharcamiento* cuando el terreno es plano.

La capacidad de infiltración es mayor al comienzo de la lluvia. A medida que esta avanza en el tiempo comienza a disminuir hasta estabilizarse e igualarse prácticamente a la capacidad de drenaje del suelo. En la Figura 1, se aprecia la disposición teórica de una lluvia en función del tiempo.

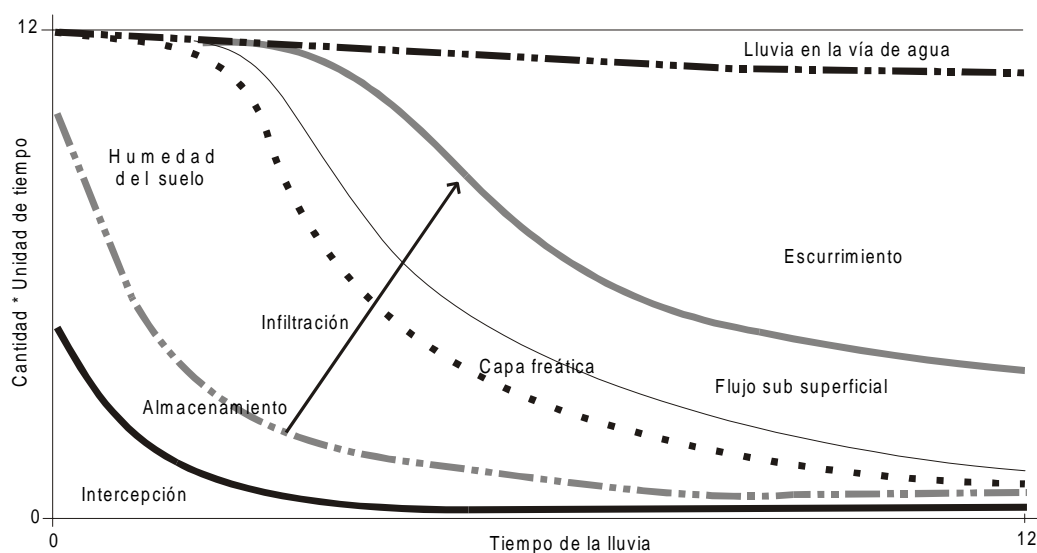


Figura 1. Diagrama de disposición de una lluvia.

* Ing., INTA EEA Marcos Juárez. Cba. Argentina. E-mail: hmarelli@central.inta.gov.ar

La tasa de intercepción es alta al principio de la lluvia, y especialmente alta en verano cuando existe una densa vegetación o canopia de los cultivos. Dependiendo de la intensidad de la lluvia, del sistema de labranza y del manejo del suelo, la capacidad de almacenamiento superficial es muy variable. No obstante juega un papel importante en el proceso de desagregación y sellado superficial del suelo por el impacto de las gotas de lluvia.

Salvo en tormentas muy intensas o en suelos muy refinados, y considerando una pendiente del 0,5 al 2%, los requerimientos de humedad del suelo son casi satisfechos antes que ocurran grandes volúmenes de escurrimiento.

El escurrimiento comienza en cero y se va incrementando paulatinamente a medida que se desarrolla la tormenta. A medida que el suelo se satura el volumen escurrido se hace mayor hasta alcanzar casi la misma proporción de la lluvia caída.

La erosión hídrica y el escurrimiento

La erosión hídrica se define como la desagregación de las partículas primarias y agregados de la masa del suelo por el impacto de la gota de lluvia o de la abrasión del escurrimiento y su transporte por salpicado o flujo del agua. Las lluvias, el tipo de suelo y su manejo, la vegetación y la topografía son los factores que la afectan. El manejo del suelo y de cultivos son algunos sobre los que podemos operar en beneficio de la integridad de este recurso.

Cuando el suelo está desnudo y expuesto, la desagregación por la lluvia es una acción generalizada. Si consideramos que los millones de gotas que caen sobre una hectárea promedian un diámetro de 3 mm, una lluvia de 60 mm generaría una energía de aproximadamente 1.500.000 Kgm que se dispararán sobre el suelo provocando la separación de las partículas por salpicadura.

Si bien en su etapa final el escurrimiento es una acción dirigida que actúa sobre una parte del terreno en la que se concentra, el movimiento inicial del mismo como lámina, encuentra en un suelo "planchado" por la lluvia una facilidad de desplazamiento que favorece el arrastre del mismo.

Una buena cobertura de rastrojos sobre el suelo (60 - 70%) evitaría por un lado la desagregación de las partículas y agregados por las gotas de lluvia y además reduciría la velocidad del escurrimiento, perdiendo su agresividad y permitiendo una mayor infiltración.

La ecuación universal de pérdida de suelo (Wischmeier y Smith USDA), si bien predice las pérdidas teniendo en cuenta sólo la acción de las lluvias, es un buen indicador comparativo. Esta relación empírica considera aparte del factor de erosividad de las lluvias, la erodibilidad del suelo, el efecto de la pendiente, de las prácticas de conservación y del factor "C" de cultivo y manejo. La Figura 2, muestra la relación de las pérdidas de suelo en t/ha/año, para las secuencias de cultivos maíz/maíz, maíz/soja, soja/soja y trigo/soja para los sistemas de labranza convencional, labranza reducida y siembra directa.

Es fácil observar que las pérdidas de suelo para el sistema convencional son mayores que para los otros dos sistemas, poniendo en evidencia la protección que proporciona el rastrojo en superficie especialmente en el sistema de siembra directa.

Mediciones de pérdidas de suelo y escurrimiento efectuadas en la EEA Marcos Juárez y en su área de influencia con simuladores de lluvia en suelos de alta erodibilidad se aprecian en los siguientes cuadros:

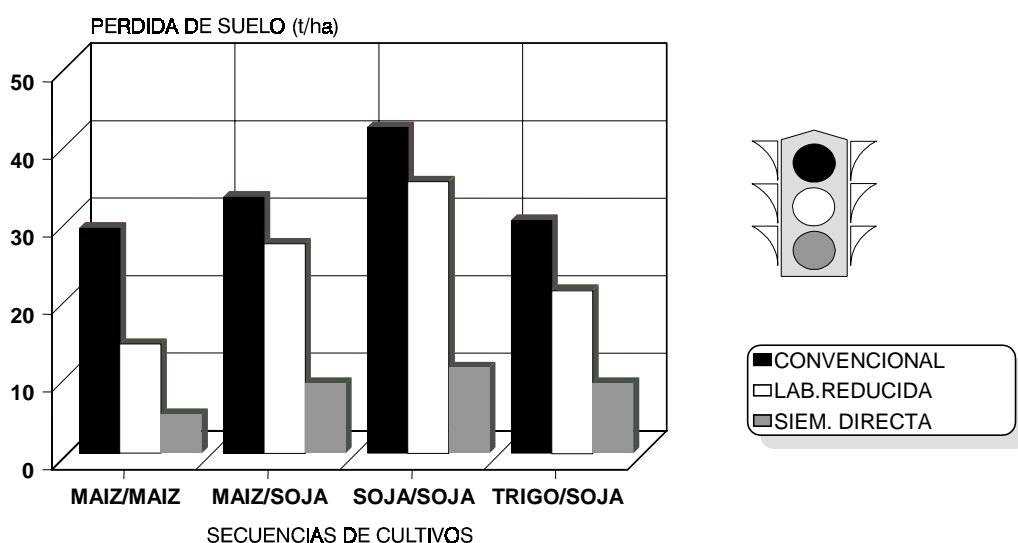


Figura 2: Evaluación de la pérdida de suelo

Cuadro 1. Secuencia trigo /soja bajo dos sistemas de labranza, convencional y siembra directa. (**)

CULTIVOS ESTADIOS	SOJA			TRIGO		
	Emerg.	Flora.	Cosec.	Emerg.	Flora.	Cosec.
Pérdida de suelo (t/ha)	SC 3.0	2.0	1.8	2.0	0.7	0.14
	SD 1.0	0.4	0.4	0.5	0.3	0.13

** Lluvia aplicada 60 mm/h, con tres situaciones de humedad antecedente.

Cuadro 2. Suelo en barbecho desnudo. (**)

SITUACIÓN DEL SUELO	PÉRDIDA DE SUELO	ESCURRIMIENTO
Suelo desnudo trabajado	4,5 t/ha	478 t/ha
Suelo desnudo trabajado y c/bordes	5,3 "	441 "

** Lluvia aplicada 60 mm/h, con tres situaciones de humedad antecedente.

Pendiente 3%. **Simulador rotativo Swanson.** Serie de suelo Marcos Juárez, Argiudol típico. Los bordes simulaban el efecto de un escardillo.

Tanto para el trigo como para la soja las pérdidas de suelo fueron menores en siembra directa para cualquier estadio de los cultivos.

Del análisis de los valores de pérdidas de suelo y agua para suelo desnudo se deduce que el cultivo en contorno (suelo con bordes) para una pendiente del 3% no es suficiente para controlar el proceso erosivo.

Cuadro 3. Erosión hídrica versus labranza del suelo. (**)

SUELO TRABAJADO CON:	PÉRDIDA DE SUELO	ESCURRIMIENTO
Múltiple	1,7 t/ha	244 t/ha
1 Rastra doble	2,7 "	397 "
2 Rastra doble	5,2 "	460 "
Serie de suelo Hansen. (Argiudol típico), bajo labranza mínima		
SUELO TRABAJADO CON:	PÉRDIDA de SUELO	ESCURRIMIENTO
Arado de rejas	6,7 t/ha	390 t/ha
Arado de cincel	2,0 "	298 "
Arado paraplow	0,6 "	107 "
Siembra directa	0,8 "	546 "
Suelo de la Serie M.Juárez, con rastrojo de trigo bajo cuatro técnicas de labranza de suelo		

** Intensidad promedio de las lluvias aplicadas para tres condiciones de humedad antecedente, 65mm/h. Pendiente 1,25 %. *Simulador de intensidades múltiples (Meyer)*.

El uso del **minisimulador Kamphorst** (Wageningen Agricultural University) permite determinar a campo la erodibilidad del suelo, caracterizando al "corazón" del horizonte A bajo diferentes sistemas de labranza. Este equipo trabaja sobre una superficie de 625cm², con una pendiente conformada del 20%, sobre la que se aplica una lluvia muy intensa de 360mm/h con una duración de tres minutos.

En el Cuadro 4 se observan algunos parámetros que caracterizan la erodibilidad del suelo (Serie M.J.) para el parque, bajo sistema convencional y de siembra directa en la secuencia trigo soja.

Cuadro 4. Erodibilidad del suelo

TRATAMIENTO	HUMEDAD ANT.0-20cm	ESCURRIM. (cm ³)	PER. SUELO (g)	CONCENT. (g/l)
Parque	24%	670	12,3	18,3
S.Conv.	16%	745	45,1	60,6
S. Dta.continua	23%	910	41,6	45,5

El suelo del parque es el que presenta menor erodibilidad, mientras el que se encuentra bajo el sistema convencional la mayor. Si bien el tratamiento bajo siembra directa presenta una pérdida de suelo similar al convencional, la diferencia básica está en la concentración del sedimento, ya que teniendo mayor escurrimiento el suelo no se desagrega fácilmente.

En lluvias intensas y prolongadas, a medida que el perfil se satura, el efecto de la cobertura sobre la infiltración va decreciendo. No obstante continúa ejerciendo efecto sobre la velocidad del escurrimiento y las pérdidas de suelo.

Justamente es esa reducción en la velocidad del flujo la mayor propiedad que tiene el rastrojo en superficie. Colocado en la superficie va interceptando el frente hídrico, demorándolo y permitiendo conformar una pequeña lámina de agua sobre el suelo que disipa junto al rastrojo la energía cinética de las gotas de lluvia, evitando el sellado superficial. Al reducirse la velocidad de desplazamiento el agua tiene más posibilidades de infiltrarse pues está más tiempo en contacto con el suelo. Además, este retraso reduce el pico de escurrimiento disminuyendo la formación de surcos y cárcavas por la concentración del volumen escurrido.

Mediante la utilización del Método Racional para el cálculo del pico de escurrimiento, la Figura 3, muestra el menor valor del escurrimiento para la siembra directa, dado que disminuye el coeficiente de escurrimiento y aumenta el tiempo de concentración.

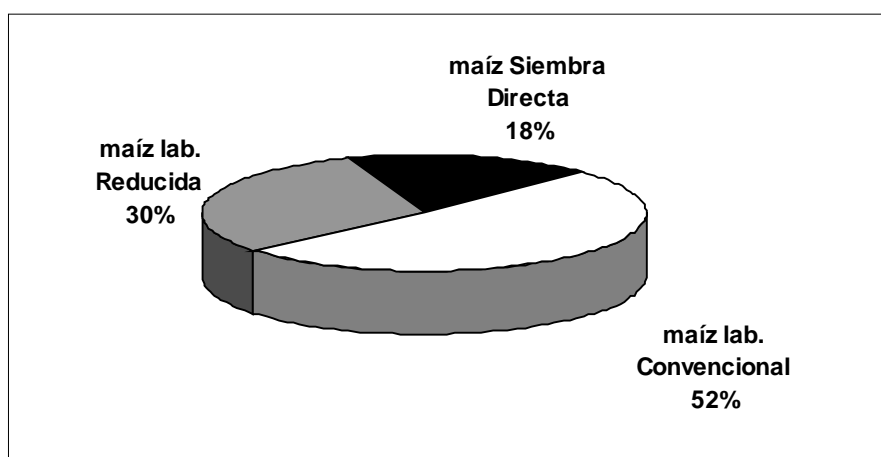


Figura 3: Pico de escurrimiento

Determinaciones de escurrimiento realizadas en Marcos Juárez con el simulador de lluvias rotativo Sawnsen, muestran para un suelo Argiudol típico con 3% de pendiente y sin cobertura un valor de 250 t/ha con una lluvia de 60 mm/hora. En las mismas condiciones un suelo con 4 t/ha de rastrojo de trigo en superficie permite sólo una pérdida de 170 t/ha. Corroborando la sensibilidad del mismo a la humedad del suelo, tenemos que, en una segunda precipitación con la misma intensidad, el escurrimiento fue de 300 t/ha para suelo desnudo y cubierto con rastrojo. Esto pone de manifiesto que una vez saturado el suelo el flujo hídrico es poco controlado por la labranza o por los rastrojos en superficie en una lluvia intensa, por lo que sería conveniente un sistema de terrazas para manejarlo.

En áreas con pendiente afectadas por erosión severa a grave donde el uso del suelo se base en la rotación agrícola, la siembra directa debe ser el complemento de las prácticas conservacionistas de ingeniería. Si bien la misma permite un mayor almacenamiento superficial y una mayor infiltración del agua de lluvia, cuando las precipitaciones sean intensas o continuas la capacidad de retención del suelo se verá superada, por lo que el escurrimiento producido deberá ser manejado a una velocidad inferior a la crítica para evitar el arrastre de suelo. No se trata de definir qué práctica de conservación es mejor, sino de complementarlas para obtener los mejores resultados en la lucha contra la erosión hídrica y la pérdida de agua.

Infiltración y humedad de suelo

El agua de lluvia puede almacenarse en las depresiones superficiales del suelo, infiltrarse o escurrirse cuando existe pendiente.

La labranza del suelo puede influir notablemente en estas alternativas a través de una variación en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y debido a la presencia de rastros en la superficie o semienterrados que crean pequeños reservorios que ayudan a retener el agua de lluvia dándole más chance para que se infiltre. En todo este proceso es necesario destacar que de acuerdo a las condiciones de humedad antecedente o sea a la humedad que tenga el suelo previo a la lluvia, será el volumen escurrido y la infiltración obtenida.

Como referencia podemos mencionar estudios sobre infiltración en suelos de textura franco limosa realizados con lluvia simulada en Marcos Juárez. Estos permiten concluir que:

- En suelos sin cobertura la infiltración del agua es rápidamente limitada por el encostramiento superficial que se produce a partir de los primeros minutos de iniciada una lluvia de 60 mm /hora de intensidad.
- Las cubiertas de residuos de trigo entre 4 y 8 t/ha son muy efectivas para evitar el encostramiento superficial y permitir un elevado nivel inicial de infiltración. Si bien toda cubierta es efectiva, el rastrojo de maíz retiene una cantidad de agua de más dos veces su peso siguiéndole en eficiencia el trigo y la soja.
- La incorporación superficial de cubiertas de 6000 a 8000 kg/ha de rastrojo de trigo (lab. reducida) mejoran la infiltración inicial.

En un cultivo de soja de primera implantado con dos sistemas de labranza (siembra directa y labranza reducida), y en una franja con alfalfa, todos con tres años de antigüedad, los valores de velocidad de infiltración obtenidos con anillos concéntricos de registración continua, arrojan los siguientes valores (Figura 4)

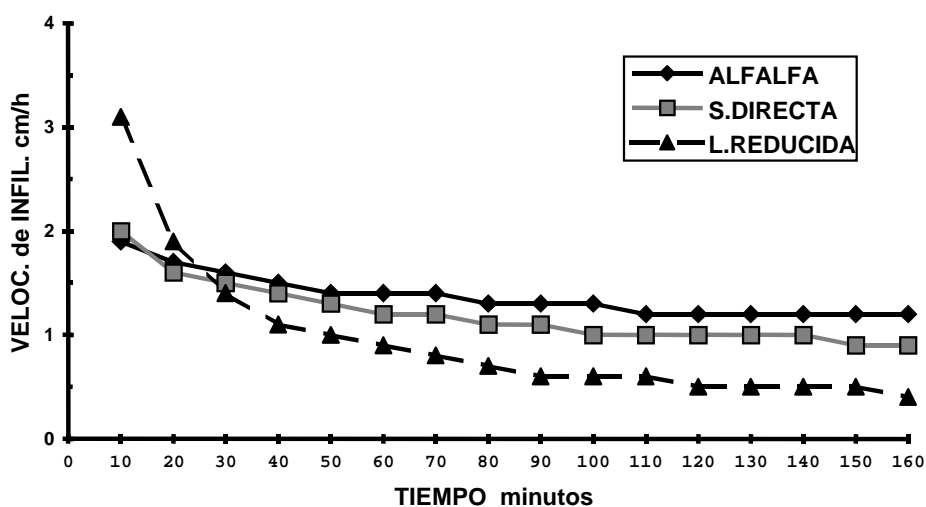


Figura 4 : Evaluación de la infiltración

Como se observa, hasta los 20 minutos de iniciada la experiencia el suelo bajo labranza reducida presenta los mayores valores de infiltración. Pero desde los 30 minutos en adelante, la relación se invierte y se estabiliza con valores superiores en siembra directa y alfalfa, indicando las ventajas de la cobertura de rastrojos y la de un estado estructural más estable como el que provoca la alfalfa y la siembra directa.

El agua del suelo es uno de los factores más dinámicos del mismo. Esta influye sobre todas sus reacciones físicas, químicas y biológicas, como así también sobre el crecimiento de las plantas. En los estudios de labranza y manejo de suelo, la humedad del suelo representa generalmente un parámetro de calificación y comparación respecto a la conservación del agua.

El fenómeno infiltración - percolación del agua de lluvia permite en gran medida la recarga hídrica del suelo llenando sus poros entre las partículas sólidas, y caracterizando la humedad del mismo.

El agua del suelo se pierde por evaporación en proporción directa al movimiento que se haga del suelo con los diferentes sistemas de labranza. Cuando menos se muevan y disturben los rastrojos que cubren la superficie, mayor será la reserva hídrica en el perfil. La presencia de un «mulch» en superficie permite regular la humedad del suelo durante el ciclo de los cultivos, dependiendo lógicamente del tipo y volumen del rastrojo.

Los ensayos de labranza realizados por el Grupo de Trabajo de Conservación y Manejo de suelo de esta Unidad, fueron acompañados por determinaciones de humedad del suelo realizadas por gravimetría. A pesar de su variabilidad espacial, permiten verificar el incremento del agua edáfica en los sistemas de labranza conservacionistas y en especial de la siembra directa. En la actualidad se está utilizando el sistema TDR (Time Domain Reflectometry) que permite un monitoreo continuo del perfil hídrico para poder estudiar su evolución temporal durante el ciclo de los cultivos y evaluar, entre otras cosas, la efectividad de los rastrojos en el manejo del agua del suelo.

La Figura 5 muestra claramente la reacción de la humedad del suelo a una lluvia de 66mm ocurrida entre las dos fechas de muestreo. Se destaca que el suelo bajo siembra directa (S.Dta.) "manejó" más eficientemente el agua de lluvia que la labranza reducida (Lab. Red.), pues los valores de agua edáfica del perfil son superiores hasta los 50 cm de profundidad.

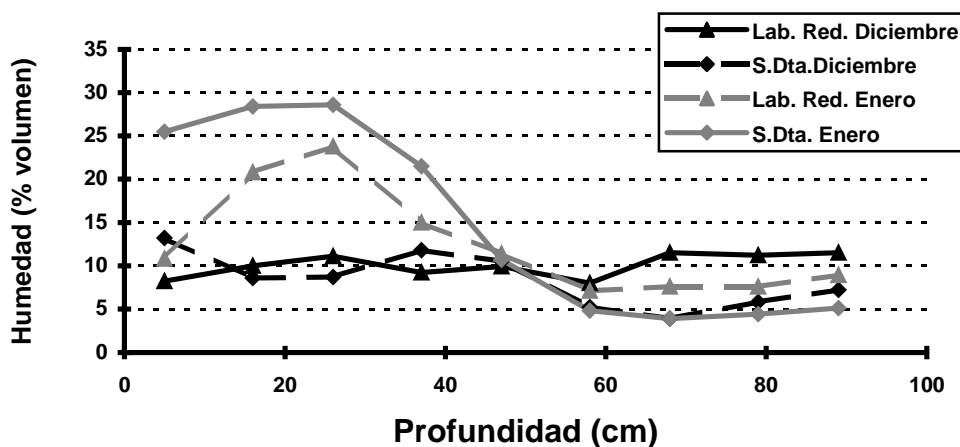


Figura 5: Humedad de suelo

Conductividad hidráulica

La conductividad del agua en el suelo depende básicamente del tamaño de los poros y de su sección transversal. Bajo un flujo en condiciones de saturación, la conductividad se incrementa en función directa a la cuarta potencia del radio de los poros.

Considerando que los sistemas de labranza modifican la porosidad del suelo, es de esperar una conductividad hidráulica diferencial.

Los valores de conductividad (promedio de tres años) se presentan en el Cuadro 5:

Cuadro 5. Secuencia trigo/soja		
TRATAMIENTO	CONduc.HIDRAU.	CALIFIC.INTERN.
Lab. convencional	$7.5 * 10^{-4}$	Permeabilidad baja
Siembra directa	$3.6 * 10^{-3}$	Permeabilidad media a baja

Esta mayor permeabilidad está señalando una tendencia de crecimiento del tamaño de poros y macroporos.

Rendimientos de los cultivos

El comportamiento de los sistemas de labranza en su relación con los rendimientos, varía con el tipo de suelo, clima, nivel de manejo y variedad o híbrido utilizado.

Dentro de los factores edáficos podemos mencionar la textura, el drenaje, la compactación, la evolución de la humedad y la fertilidad. Muchos de éstos son modificables por las operaciones de labranza, por lo que es de esperar que actúen sobre los rendimientos de los cultivos.

En general, en suelos con drenaje deficiente y lento, es factible una disminución en los rendimientos en siembra directa en comparación a los obtenidos con el sistema convencional. Pero en suelos con buen drenaje, el desarrollo y rendimiento del cultivo en siembra directa es satisfactorio y superior al del sistema convencional.

Considerando los rendimientos promedio de trigo y soja de segunda, de uno de los ensayos más antiguos de siembra directa que se realiza en INTA Marcos Juárez desde 1974, se tiene que el promedio sobre 26 años es de 2194 kg/ha para soja en siembra directa, mientras que en el sistema convencional alcanza a 2053 kg/ha. El rendimiento de trigo, sembrado con labranza convencional - reducida, es mayor en un promedio de 248 kg/ha cuando se lo siembra sobre soja en siembra directa.

En suelos compactados o con estructura masiva es conveniente descompactarlos previamente para obtener buenos rendimientos. Esto puede hacerse en forma mecánica (cincel,» paratill «, «paraplow»,etc.) o biológicamente (raíces, actividad de la micro y macro fauna, etc), por ejemplo a través de una pastura perenne. Esta última forma es más lenta pero sus efectos son más duraderos.

Suelos con textura limosa y muy «chacareados», sometidos a siembra directa continua, generalmente presentan un aumento diferencial en la densidad aparente. Esto no

llega a ser un impedimento serio para el rendimiento de los cultivos, siempre que una buena cobertura de residuos mantenga una adecuada humedad edáfica.

Independientemente del sistema de labranza, la rotación de cultivos induce a un aumento de los rendimientos. Haciendo referencia a los correspondientes a siembra directa, ensayos en Marcos Juárez muestran que el maíz sobre soja rindió 8000 kg/ha y el maíz sobre maíz sólo alcanzó los 4000 kg/ha. Las Figuras 6 y 7 muestran los rendimientos promedio de soja y maíz (1989/00) y del ciclo 1999/00 para siembra directa, labranza reducida y labranza convencional.

Los cultivos de trigo y maíz en siembra directa, muestran síntomas de deficiencia de nutrientes (nitrógeno), por lo que se hace necesario fertilizar para obtener buenos rendimientos. Así el maíz en siembra directa sobre soja rindió 7944 kg/ha y 10662 kg/ha fertilizado con nitrógeno y azufre (1999/00).

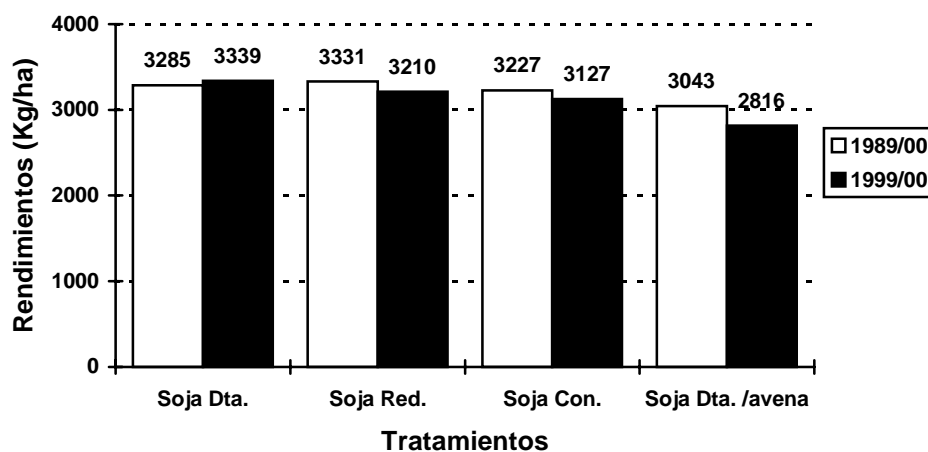


Figura 6: Rendimientos de soja

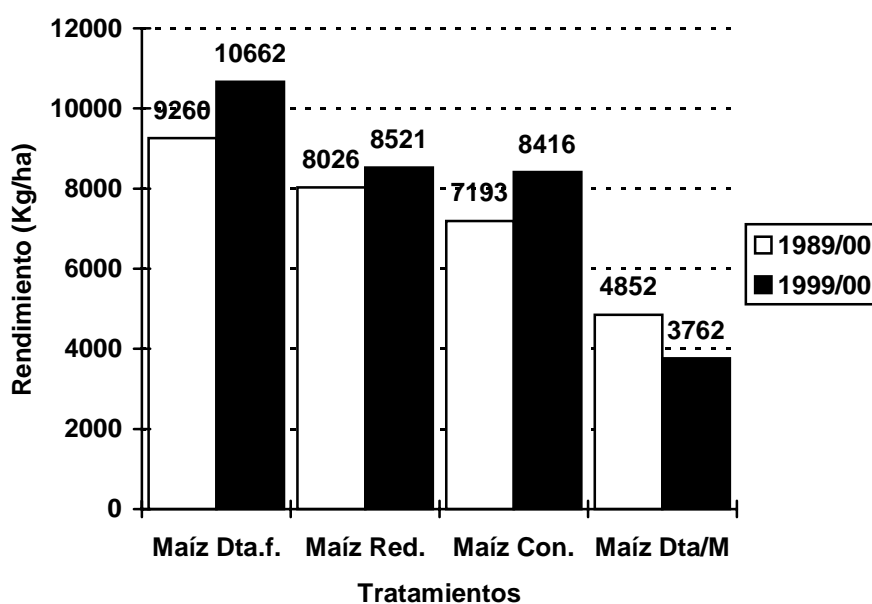


Figura 7: Rendimientos de maíz

A pesar de la buena respuesta de los cultivos a la fertilización, el uso de fertilizantes en siembra directa está reacomodándose a las exigencias del sistema, apuntando a conseguir precisión en dosis y aplicación. Así, la presencia de rastrojo en superficie, tiene influencia en el nitrógeno que se aplique. En general la mayor eficiencia se obtiene cuando éste, en cualquiera de sus formas, es colocado por debajo de la superficie del suelo y no en contacto con el rastrojo. La utilización de otros fertilizantes como el fósforo, con menos movilidad en el suelo que el nitrógeno, requiere consecuentemente mayor precisión de colocación respecto de la semilla.

Intercalar cultivos de cobertura como vicia y lupino para el maíz y avena para la soja, ayuda a controlar mejor las malezas y aumenta la fertilidad del suelo. No obstante, el consumo de agua por estos cultivos, especialmente en inviernos muy secos y primaveras con lluvias tardías, puede como en el caso del maíz/vicia reducir los rendimientos del cereal.

Efecto de diferentes secuencias de cultivos en siembra directa continua

sobre algunas propiedades edáficas de un Argiudol en la región pampeana norte de Argentina

por Hugo Fontanetto* y Oscar Keller**

Introducción

La región pampeana norte de la Argentina y en especial el centro de la provincia de Santa Fe tiene en la producción lechera su principal actividad agropecuaria, otorgándole a la zona una fisonomía propia y haciendo de la misma una de las más importantes cuencas lecheras del América del Sur. Se puede mencionar que en esta zona la actividad tambera con sus diferentes variantes productivas ocupa al 35,5 % de las empresas existentes y la ganadera al 40 %.

Del análisis anterior surge que las especies forrajeras ocupan un papel muy importante como fuente de alimentos para el ganado de leche o de carne. El manejo de las explotaciones ganaderas se realiza principalmente en base a un sistema pastoril, constituyendo el forraje verde su base alimenticia. En este sentido, los verdes y las pasturas perennes se convierten en el principal componente de la dieta (Romero et al., 1994).

La implantación de las pasturas y los cultivos en las explotaciones de leche y de carne de la región central de Santa Fe se realiza principalmente con sistemas que implican el laboreo del suelo, los que provocan la degradación del mismo (Fontanetto y Keller, 1998; Fontanetto y Vivas, 1998).

La siembra directa de pasturas es una práctica que evita dicha degradación, tiene ventajas operativas en relación a otras labranzas (Baumer, 1993 ; Fontanetto et al, 1997) y permite obtener producciones similares y/o superiores a los sistemas tradicionales (Fontanetto y Keller, 1998).

Existe poca información para la región referente a la acción de la siembra directa continua de alfalfa, verdes y cultivos destinados a la producción de leche o carne, sobre algunas propiedades del suelo. Por lo expuesto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de distintas secuencias de cultivos bajo siembra directa continua sobre la evolución de diferentes parámetros edáficos.

* Ing. Agr., MSc, INTA-EEA Rafaela. CC 22 (2300) RAFAELA (Santa Fe), Argentina. E-mail: hfontanetto@rafaelainta.gov.ar

** Ing. Agr., INTA-EEA Rafaela. CC 22 (2300) RAFAELA (Santa Fe), Argentina

Materiales y métodos

La experiencia se realizó en el campo experimental de la EEA Rafaela del INTA, sobre Argiudoles Clase II (Mosconi et al, 1982). Las secuencias evaluadas fueron: 1- Alfalfa(3 años)-Avena(Av)-Sorgo Forrajero (SF)-Av-Maíz de segunda(Mz)-Av-SF-Av-Mz (9 cultivos en 7 años) y 2- Alfalfa(3 años)-Av-Moha-Alfalfa(3 años) (4 cultivos en 7 años) y cada una recibió dos dosis de fertilizante nitrogenado: 0 y 50 kg/ha por cada cultivo. La experiencia comenzó en marzo de 1991 (situación inicial) y las evaluaciones en las secuencias se realizaron en marzo de 1998/99.

El diseño experimental utilizado fue el de parcelas divididas dispuestas en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, correspondiendo a la parcela principal el tratamiento de fertilización nitrogenada y a la subparcela las secuencias de cultivos. La dimensión de cada unidad experimental fue de 6 m de ancho por 20 m de longitud.

Las determinaciones que se efectuaron a dos profundidades del suelo fueron: cantidad de rastrojo (en g/100 g suelo), materia orgánica total (MOT, por Walkley-Black), materia orgánica joven (MOJ, por tamizado), materia orgánica vieja (MOV, por diferencia entre las dos anteriores) y fósforo extractable (P, por Bray I). Las determinaciones físicas fueron: distribución del tamaño de poros (DTP) discriminados en: grandes (mayores a 60 micras), medianos (entre 8 y 60 micras) y chicos (menores a 8 micras); infiltración acumulada de agua (I; Aranovici, 1955) y conductividad hidráulica saturada de la capa superficial 0-7,5 cm (Ks; Klute, 1965).

Se realizó el análisis de la varianza de las variables mencionadas para cada profundidad y para las que resultaron significativas, se efectuaron comparaciones múltiples de medias (Tukey 5 %).

Resultados y discusión

La cuantificación de la evolución de las propiedades químicas del suelo con las dos secuencias de cultivos y las dosis de nitrógeno (N) en relación a la situación inicial, se detallan en el Cuadro 1.

Luego de siete años de siembra directa continua, las cantidades de rastrojo fueron modificadas significativamente por efecto de las secuencias en conjunto con las dosis de N50 para la primera capa de suelo (0-5 cm). Para la secuencia 2 las parcelas con N0 no difirieron de la situación inicial en ambas profundidades de suelo evaluadas, y sólo la dosis N50 en la capa 0-5 cm mostró un aumento del 21,5 % en relación a la situación original (Cuadro 1).

Para la MOT se registraron incrementos significativos respecto a la situación inicial con la secuencia 1 en las dos profundidades de suelo y con los dos niveles de N ensayados. Con la secuencia 2 los aumentos se dieron sólo en la capa 0-5 cm y con N50, demostrando que el agregado de N incrementó la MOT a través de las mayores producciones de materia seca total producida por los cultivos. La secuencia 1 provocó mayores aumentos de la MOT que la 2 debido al mayor volumen de rastrojo producido y asimismo, de más alta relación C/N. Estas variaciones de la MOT se debieron al aumento de la MOJ, puesto que la MOV permaneció inalterable (Cuadro 1).

Los niveles de P no difirieron entre las dos secuencias evaluadas pero sí entre la secuencia 2 y la situación inicial en la profundidad 5-15 cm, pudiendo deberse a la mayor extracción de P del suelo que provoca la alfalfa comparada con el maíz y el sorgo (Cuadro 1).

Los poros grandes (Cuadro 2) no fueron modificados por las dos secuencias evaluadas en relación a la situación inicial. En cambio los poros medianos y chicos se incrementaron

Cuadro 1. Valores de Rastrojo, de MOT, MOV, MOJ y P en la situación inicial y luego de siete años con diferentes dosis de N y dos secuencias forrajeras (1 y 2).

TRATAMIENTO	Profundidad Suelo (cm)	Rastrojo (g/%)	-----%-----			P (ppm)
			MOT	MOV	MOJ	
Situación Inicial	0-5	1,58 a	4,50 a	3,85 a	0,65 a	41 a
	5-15	0,30 a	3,40 a	2,98 a	0,42 a	38 a
Secuencia 1						
N0	0-5	1,92 b	5,90 b	3,95 a	1,95 b	37 ab
	5-15	0,39 ab	3,85 b	2,90 a	0,95 b	35 ab
N50	0-5	2,13 b	6,34 c	3,92 a	2,42 c	36 ab
	5-15	0,49 b	3,72 b	2,78 a	0,94 b	35 ab
Secuencia 2						
N0	0-5	1,63 ab	4,84 a	3,72 a	1,12 b	38 ab
	5-15	0,39 ab	3,52 a	2,78 a	0,74 b	34 ab
N50	0-5	1,81 b	5,15 b	3,92 a	1,23 b	34 ab
	5-15	0,38 ab	3,60 a	2,86 a	0,74 b	32 b

MOT: materia orgánica total, MOV: materia orgánica vieja y MOJ: materia orgánica joven. Medias de tratamientos y para cada profundidad con la misma letra y en sentido vertical, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey $P < 0,05$).

Cuadro 2. Distribución del tamaño de poros del suelo discriminado en grandes, medianos y chicos en porcentaje (%) con las dos secuencias de cultivos ensayadas y en la situación inicial.

TRATAMIENTOS	P O R C E N T A J E D E P O R O S						
	Prof (cm):	G r a n d e s		M e d i a n o s		C h i c o s	
		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Situación Inicial	19,5 a	7,5 a	4,1 a	3,4 a	28,8 a	27,4 a	
Secuencia 1	18,8 a	9,3 a	9,1 b	6,2 b	32,8 b	30,6 b	
Secuencia 2	17,6 a	8,1 a	6,1 a	4,8 ab	29,3 a	29,9 ab	

Medias de tratamientos y para cada profundidad con la misma letra en sentido vertical, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey $P < 0,05$).

con la secuencia 1 luego de los siete años de siembra directa, no existiendo diferencias al comparar ambas secuencias entre sí.

La infiltración del agua en el suelo con la secuencia 1 registró incrementos luego de la primer hora de iniciada la medición respecto a la situación inicial. Esto se debería a la mayor cantidad de poros medianos y a la estabilidad de los mismos lograda en siete años de siembra directa y con predominio de gramíneas. La secuencia 2, con dos cultivos de gramíneas registró valores algo superiores a la situación inicial, pero sin diferencias significativas. Esto demuestra el efecto benéfico de los sistemas radiculares de las gramíneas sobre la captación del agua por el suelo (Figura 1).

En relación a la conductividad hidráulica saturada (Ks), se midieron mayores valores en la secuencia 1, presentando la secuencia 2 registros levemente superiores a la situación original. Asimismo, la situación inicial presentó los menores valores de Ks y la misma disminuyó en forma más marcada luego de la tercer hora en relación a las restantes secuencias (Figura 2). Esto indicaría una mayor destrucción de poros del suelo ante el flujo del agua y por ende una mayor inestabilidad de los mismos. Este comportamiento se debería a un estado poroso menos favorable en la situación inicial.

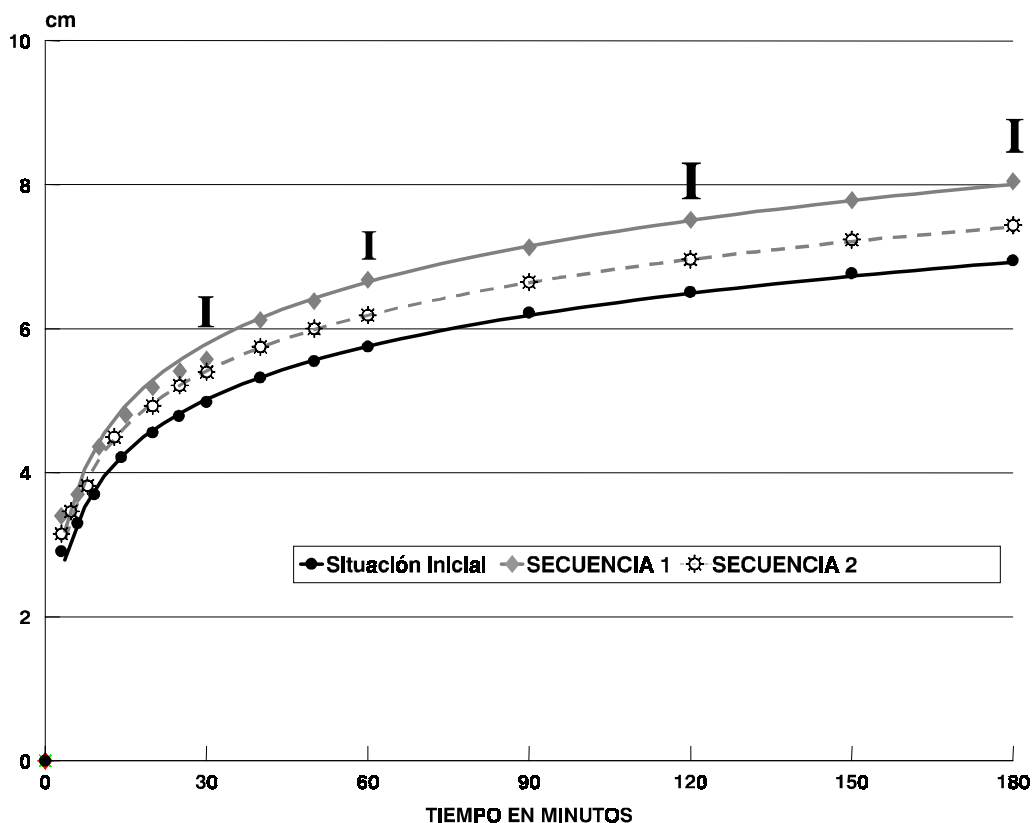


Figura 1. Infiltración acumulada de agua (cm) en la situación inicial y luego de 7 años de siembra directa continua con 2 secuencias de cultivos (Secuencia 1 y 2). (Las barras dentro de la Figura son las D.M.S.(diferencia mínima significativa))

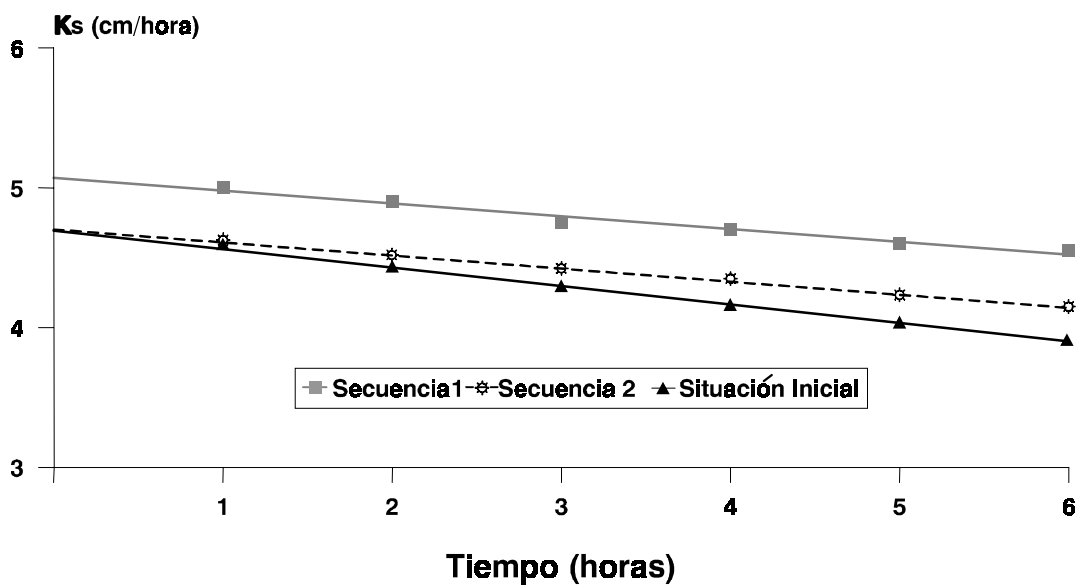


Figura 2. Conductividad hidráulica (K_s) (0-10 cm) en las secuencias 1 y 2 con siete años de siembra directa continua en relación a la situación inicial.

Conclusiones

- La labranza cero y el fertilizante nitrogenado incrementaron la materia orgánica del suelo.
- Los rastrojos, la materia orgánica y la captación y la conducción del agua del suelo aumentaron con el aumento de gramíneas en las secuencias.
- La siembra directa continua incrementó la porosidad del suelo.

Literatura citada

- ARANOVICI, V. 1955. Model study of ring infiltrometer performance under low initial soil moisture. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19: 1-6.
- BAUMER, C. 1993. La siembra directa en la producción de forrajes. Sextas Jornadas Ganaderas de Pergamino. Actas: 119-139.
- FONTANETTO, H. ; GAMBAUDO, S.; SÉLLER, O.; HEIN, W. y ROMERA, J. 1997. Siembra Directa de especies forrajeras. CERSAN, INTA EEA Rafaela. Curso Regional de Producción Lechera. AER Galvez, 7 de agosto de 1997. Módulo 1: Producción de Pasturas. 16 p.
- _____ y KELLER, O. 1998a. Evolución de propiedades físicas y químicas del suelo con diferentes secuencias de pasturas y cultivos en siembra directa. Reunión Técnica sobre "Viabilización de la Siembra Directa en Sistemas Mixtos de Producción". PROCISUR-INIA. INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay, 22 al 24 de abril de 1998. Resúmenes: 5-7.
- _____ y KELLER, O. 1998b. La siembra Directa de Forrajeras en el Centro de Santa Fe. In: Siembra Directa. S.A.G.P. y A., I.N.T.A.:287-299. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires (Argentina).
- _____ y VIVAS, H. 1998. Labranzas en el centro de Santa Fe. In: Siembra Directa. S.A.G.P. y A., I.N.T.A.:275-286. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires (Argentina).
- KLUTE, G. R. 1965. Laboratory measurements of hydraulic conductivity of saturated soil. In: C. A. Black (ed). *Methods of Soil Analysis, Part I. Agronomy* 9: 210-221, Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
- MOSCONI, F.; HEIN, N. y PANIGATTI, J. 1982. Mapa detallado de suelos de la Estación Experimental Regional Agropecuaria Rafaela (Santa Fe). INTA, EERA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 13, 36 pp.
- ROMERO, L.; BRUNO, O.; DÍAZ, M. y GAGGIOTTI, M. 1994. Fertilización nitrogenada en avena para pastoreo. INTA EEA Rafela, Area de Investigación en Producción Animal. Informe para Extensión N° 117. 3p.

Efecto de diferentes labranzas sobre propiedades edáficas de un Argiudol

y los rendimientos de trigo y soja con dos secuencias agrícolas en la región pampeana norte de Argentina

por Hugo Fontanetto* y Oscar Keller**

Introducción

Los cambios registrados en los sistemas de producción de la zona núcleo maicera de la Argentina, también ocurrieron en la región pampeana norte. En esta área la intensificación hacia una agricultura continua, debido fundamentalmente a aspectos económicos y a posibilidades ecológicas, hizo que se abandone la rotación agrícola-ganadera que constituía un factor fundamental para mantener a los suelos en buenas condiciones productivas.

Los suelos aptos para la agricultura pertenecen a los Molisoles y dentro de éstos, a los Argiudoles, con variantes de acuerdo a la posición del relieve en que se encuentren. Los más productivos son los Argiudoles típicos y ácuicos y los Argialboles. Los mismos presentan una buena fertilidad química, pero la textura de su capa arable los hace susceptibles a la degradación física. De acuerdo a los datos de laboratorio están compuestos por 70 % de limo, 28 % de arcilla y 2 % de arena en el horizonte Ap, característica que los hace poseer una tendencia natural a compactarse al no ser laboreados y a presentar una baja estabilidad de agregados.

La intensificación de la agricultura se produjo sin adaptar las técnicas de producción de los cultivos a este uso más intensivo, no existiendo tampoco una adecuada planificación de las rotaciones y predominando el laboreo excesivo. Esta situación, sumada a la susceptibilidad natural de los suelos a degradarse, ocasionó un deterioro generalizado de sus propiedades físico-químicas que afectaron su productividad y determinaron una disminución en los rendimientos de los cultivos.

La inclusión dentro de este esquema agrícola del doble cultivo trigo-soja continuo en detrimento de otras secuencias que incluían al maíz, el sorgo o la soja de primera y realizados en forma convencional, agudizó los problemas mencionados, convirtiéndose el mencionado doble cultivo en el caso extremo de la agriculturización (Senigagliesi y Zeljkovich, 1988; Marelli, 1990).

Las labranzas conservacionistas con sus distintas variantes constituyen para esta situación una alternativa tecnológica para mantener y/o recuperar la productividad de los suelos y encontrando en la siembra directa, una herramienta muy apropiada.

* Ing. Agr., MSc, INTA-EEA Rafaela. CC 22 (2300) RAFAELA (Santa Fe), Argentina. E-mail: hfontanetto@rafaelainta.gov.ar

** Ing. Agr., INTA-EEA Rafaela. CC 22 (2300) RAFAELA (Santa Fe), Argentina

En la región centro-norte de Santa Fe, se realizaron diversas experiencias donde se evaluó el efecto de diferentes labranzas sobre propiedades físicas y químicas del suelo y la producción de diferentes cultivos (Vivas y Fontanetto, 1986; Vivas et al, 1987; Fontanetto et al, 1990; Fontanetto y Gambaudo, 1992; Fontanetto y Gambaudo, 1994; Fontanetto y Gambaudo; 1996). Los trabajos abarcaron aspectos parciales del suelo y con secuencias de cultivos y series de suelos diferentes. Por tal motivo, el objetivo de la presente experiencia fue evaluar la evolución de diferentes propiedades edáficas de un suelo de aptitud agrícola con diferentes labranzas y dos secuencias de cultivos predominantes en la región.

Materiales y métodos

La experiencia se realizó en el campo experimental de la EEA Rafaela del INTA, sobre Argiudoles de Clases I y II (Mosconi et al, 1982). Los tratamientos de labranza evaluados fueron: Siembra Directa (SD) y Labranza Convencional (LC) con implementos de discos (rastra de tiro excéntrico, rastra de doble acción y vibrocultivador). Las secuencias evaluadas fueron: Trigo/Soja (T/S) y Trigo/Soja-Maíz (T/S-M), luego de 10 años de agricultura continua.

El diseño experimental utilizado fue el de parcelas divididas dispuestas en bloques aleatorizados con cuatro repeticiones, correspondiendo a la parcela principal el tratamiento de labranza (SD y LC) y a la subparcela, las secuencias de cultivos (T/S y T/S-M). Las dimensiones de cada subparcela fue de 10 m de ancho por 40 m de longitud.

Las determinaciones químicas efectuadas fueron: materia orgánica (MO, por Walkley-Black), nitrógeno orgánico total (Nt), pH (1:2,5 en agua), fósforo extractable (P, por Bray I), calcio, magnesio y potasio intercambiables (Ca, Mg y K, método de desplazamiento por el acetato de amonio). Las determinaciones físicas fueron: distribución del tamaño de poros (DTP) discriminados en: grandes (mayores a 60 micras), medianos (entre 8 y 60 micras) y chicos (menores a 8 micras), cobertura del suelo con rastrojos (CR, Laflen et al., 1980), estabilidad de agregados al agua (EA, Gutiérrez y Panigati, 1979), densidad aparente (D. Ap., Blake, 1965; medida en la madurez fisiológica de los cultivos) infiltración acumulada de agua (I; Aranovici, 1955) y resistencia a la penetración (cuantificada con un penetrómetro de golpes con punta cónica de 2 cm², provisto de una pesa de 0,25 kg arrojada desde una altura de 0,90 m).

Se realizó el análisis de la varianza de las variables mencionadas para cada profundidad y para las que resultaron significativas, se efectuaron comparaciones múltiples de medias (Tukey 5 %).

Resultados

Propiedades químicas del suelo

La implantación de cultivos implica una extracción continua de nutrientes del suelo, de los cuales una parte no vuelve al sistema en la misma proporción en la que son extraídos. Esto es debido a que un alto porcentaje de los mismos se van con el grano. Por lo tanto, en sistemas intensivos de producción y con cultivares de alta productividad por unidad de superficie, algunos de estos elementos pasan a ser deficientes.

Prueba de ello son los resultados obtenidos con las diferentes labranzas luego de 10 años de agricultura continua, donde ciertas propiedades químicas de la pastura original variaron considerablemente de acuerdo a las labranzas y a la secuencia de cultivos evaluadas, como puede apreciarse en los Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Niveles de M O, de Nt, pH, P disponible, Ca y Mg intercambiables a dos profundidades del suelo evaluadas al comienzo de la experiencia y luego de 10 años de agricultura continua con tres labranzas diferentes en la secuencia Trigo/Soja- Maíz (T/S-M).

TRAT.	PROF. (cm).	MO	Nt %	pH	P disponible ppm	Ca meq/100 g	Mg
Situación inicial	0-5	5,48 a	0,189 a	6,2 a	65,9 a	10,8	1,8
	5-15	3,96 a	0,154 a	6,3 a	43,7 a	9,6	1,6
S D	0-5	3,89 b	0,167 b	5,8 a	55,6 b	9,3	1,3
	5-15	3,00 b	0,149 a	5,9 a	39,8 a	9,5	1,1
L R	0-5	3,21 c	0,151 b	5,9 a	56,8 b	9,0	1,2
	5-15	2,82 b	0,134 ab	5,8 a	37,6 a	9,0	1,2
L C	0-5	2,94 d	0,124 c	5,8 a	55,2 b	8,9	1,3
	5-15	2,80 b	0,126 b	5,8 a	36,8 a	8,7	1,4

SD: Siembra Directa, LR: Labranza Reducida y LC: Labranza Convencional. Medias de tratamientos seguidas por la misma letra y para la misma profundidad, no difieren entre sí (Tukey $p < 0,05$).

Cuadro 2. Niveles de M O, de Nt, pH, P disponible, Ca y Mg intercambiables a dos profundidades del suelo evaluadas al comienzo de la experiencia y luego de 10 años de agricultura continua con tres labranzas diferentes en la secuencia Trigo/Soja (T/S).

TRAT.	PROF. (cm).	MO	Nt	pH	P disponible ppm	Ca meq/100 g	Mg
Situación inicial	0-5	5,48 a	0,189 a	6,2	65,9 a	10,8	1,8
	5-15	3,96 a	0,154 a	6,3	43,7 a	9,6	1,6
S D	0-5	3,75 b	0,153 b	5,8	53,2 b	8,9	1,2
	5-15	2,87 b	0,137 ab	5,9	37,6 a	9,1	1,2
L R	0-5	3,02 c	0,132 c	5,9	54,3 b	8,7	1,2
	5-15	2,71 b	0,128 bc	5,8	37,2 a	8,9	1,2
L C	0-5	2,74 d	0,116 d	5,8	52,8 b	8,5	1,2
	5-15	2,61 b	0,109 c	5,8	35,9 a	8,6	1,4

SD: Siembra Directa, LR: Labranza Reducida y LC: Labranza Convencional. Medias de tratamientos seguidas por la misma letra y para cada profundidad, no difieren entre sí (Tukey $p < 0,05$).

La degradación química del suelo fue más acentuada con la LC que con la SD, presentando la LR valores intermedios, coincidiendo con experiencias en otros lugares de la Argentina (Lazzari, 1989; Zeljkovich, 1989 y Marelli, 1992). Los descensos más notorios se produjeron especialmente en el nitrógeno total (Nt) y en la materia orgánica (MO). De las dos secuencias evaluadas, la T/S fue la que produjo las mayores pérdidas de la fertilidad química del suelo.

Asimismo, la secuencia T/S produjo más pérdidas de Ca del suelo que la secuencia T/S-M, debido especialmente a la mayor frecuencia con que aparece la soja en los 10 años de evaluación, siendo más exigente en Ca que el trigo o el maíz (Cuadros 2 y 3).

El contenido de Nt fue el que más descendió en términos absolutos en comparación con los restantes parámetros a las dos profundidades de suelo estudiadas. Estos resultados muestran al Nt como un parámetro más sensible que la MO para detectar cambios provocados por el manejo relacionados a la fertilidad nitrogenada del suelo. Los niveles de pH, P y Mg, mostraron un descenso a los niveles iniciales, el que fue similar con todos los tratamientos evaluados (Cuadros 1 y 2).

La disminución observada en los contenidos de MO y de Nt, aún con las alternativas conservacionistas en la secuencia T/S, indica la necesidad de reemplazar a esta secuencia, tratando de incluir cultivos que aporten mayor cantidad de rastrojos al suelo. En este sentido la rotación trigo/soja-maíz se muestra menos degradativa. Similares resultados fueron informados por Hansen y Zeljkovich (1984).

El pH del suelo no mostró diferencias por efecto de los tratamientos, pero fue indicador de la acidificación producida cuando el mismo se expuso a una agricultura en forma continua, coincidiendo con lo informado por Marelli (op. cit.). Otros investigadores informaron que la SD provocó menores valores de pH que las restantes labranzas (Lazzari, op. cit.; Zeljkovich, op. cit.), especialmente en las parcelas que fueron fertilizadas (Hansen y Zeljkovich, 1989).

Propiedades físicas del suelo

Los suelos de la región central de la provincia de Santa Fe debido a la poca cantidad de arena (2 %) y a los elevados contenidos de limo (70 %), están siempre expuestos a modificar negativamente su estructura original por efecto de las labranzas.

Los cambios en su condición física pueden evaluarse a través de algunas propiedades que se detallarán a continuación.

Densidad aparente, estabilidad de agregados y cobertura del suelo con rastrojos.

En los Cuadros 3 y 4 se presentan los valores de densidad aparente (D. Ap.) del suelo, los de estabilidad de agregados (E.A.) y de cobertura de rastrojos superficial, con las dos secuencias de cultivos evaluadas.

Cuadro 3. Evolución de la Densidad aparente (D. Ap.), Estabilidad de agregados (E.A.) y cobertura de rastrojos (C.R.) del suelo en los tratamientos evaluados para la secuencia Trigo/Soja-Maíz

TRATAM.	D. Ap. (g.cm-3)		E. A. (%)		C. R. (%)
	0-7,5	7,5-15 cm	0-10	10-20 cm	
SD	1,20a	1,24a	8,8a	8,3a	89 a
LR	1,16a	1,23a	5,2b	4,9b	43 b
LC	1,16b	1,21a	2,9c	2,8b	9 c
Situación Original	1,06 c	1,09 c	41,0d	48,9c	100 d

SD: siembra directa; LR: labranza reducida y LC: labranza convencional. Medias de tratamientos seguidas por la misma letra no difieren entre sí (Tukey $P < 0,05$).

Cuadro 4. Evolución de la densidad aparente (D. Ap.), Estabilidad de agregados (E.A.) y cobertura de rastrojos (C.R.) del suelo en los tratamientos evaluados para la secuencia Trigo/Soja.

TRATAM.	D. Ap. (g.cm ³)		E. A. (%)		C. R. (%)
	0-7,5	7,5-15 cm	0-10	10-20 cm	
SD	1,23a	1,30 ^a	8,2a	7,7a	74
LR	1,21a	1,29 ^a	5,0b	4,3b	31
LC	1,19a	1,26 ^a	2,3c	2,6b	5
Situación Original	1,06	1,10	41,0d	48,9c	100

SD: siembra directa; LR: labranza reducida y LC: labranza convencional. Medias de tratamientos seguidas por la misma letra no difieren entre sí (Tukey $P < 0,05$).

Los valores de D. Ap. indicaron una tendencia hacia una mayor compactación en las dos profundidades para la SD comparada con la LC y presentando la LR niveles intermedios para ambas secuencias de cultivos. Pero cabe aclarar que no fueron significativas las diferencias encontradas. Todos los tratamientos presentaron registros superiores en relación a la situación original, siendo indicador de la compactación producida en el suelo por efecto de las labranzas. Los registros no coinciden con los informados por otros autores (Lattanzi y Marelli, 1982; Garay, 1987; Lal et al, 1989; y Zeljkovich, 1989), ya que en esta experiencia la D. Ap. se midió en la madurez fisiológica de los cultivos, donde el efecto de la mayor porosidad inicial provocada por los laboreos fue desapareciendo al destruirse por el tiempo transcurrido y se explica por la compactación natural que sufren estos suelos por su alto contenido de limo.

Los valores más altos de EA fueron medidos en la SD y los más bajos en la LC, coincidiendo con lo hallado por Lattanzi y Marelli (1982) y Zeljkovich (1989) quienes trabajaron sobre suelos similares. Este comportamiento podría asociarse con una mayor susceptibilidad a la destrucción de los agregados producida por la LC comparada con los otros tratamientos. El comportamiento de la EA fue similar en ambas secuencias de cultivos (Cuadros 3 y 4).

La cobertura de rastrojos fue mayor con la SD para las dos secuencias de cultivos y los menores valores fueron siempre para la LC, presentando registros intermedios la LR. Para esta propiedad, se mostró mejor la secuencia T/S-M que la T/S, con valores superiores en la primera secuencia, debido al aporte de rastrojos por parte del maíz (Cuadros 3 y 4).

Porosidad del Suelo

En relación a la porosidad del suelo, los valores medidos se presentan en el Cuadro 5.

La agricultura provocó descensos en la porosidad original del suelo, afectando en mayor medida a los poros grandes y a los medianos.

La porosidad del suelo no fue afectada por las secuencias de cultivos, pero sí por las labranzas. La SD produjo mayor porcentaje de poros chicos que las dos labranzas restantes y asimismo mayor cantidad de poros grandes que en la LC (Cuadro 5).

El efecto antes mencionado es positivo sobre el movimiento del agua en el suelo, ya que los poros grandes y medianos son los encargados de la entrada del agua en el suelo y los poros chicos los que afectan la retención de la misma. En este sentido, la SD

provocó mejores condiciones para estas características que las otras labranzas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Distribución del tamaño de poros (DTP) con los diferentes tratamientos evaluados y para las secuencias Trigo/Soja (T/S) y Trigo/Soja-Maiz (T/S-M) a la profundidad 0-15 cm.

TRATAMIENTOS	SISTEMA DE POROS					
	Grandes (mayor a 60 micr.)		Medianos (8 a 60 micr.)		Chicos (menor a 8 micr.)	
	T/S-M	T/S	T/S-M	T/S	T/S-M	T/S
	%					
SD	16,2a	15,8a	4,8a	4,6a	33,2a	33,0a
LR	14,0a	14,1a	4,1a	4,2a	27,1b	26,9b
LC	11,1b	10,9b	4,5a	4,2a	24,2b	24,5b
Situación Original	19,5c	6,9a	23,8b			

SD: siembra directa; LR: labranza reducida y LC: labranza convencional. Medias de tratamientos seguidas por la misma letra no difieren entre sí, (Tukey $P < 0,05$).

Resistencia a la penetración del suelo

La medición de la resistencia a la penetración trata de simular la resistencia que le opone el suelo al crecimiento de las raíces de las plantas. Cuanto mayores son los valores de la mencionada propiedad, más dificultad encuentran para crecer en la matriz del suelo, ya que se desarrollan en un ambiente de mayor compactación.

Los resultados de resistencia a la penetración realizados en las experiencias que se vienen comentando, aparecen en las Figuras 1a y 1b.

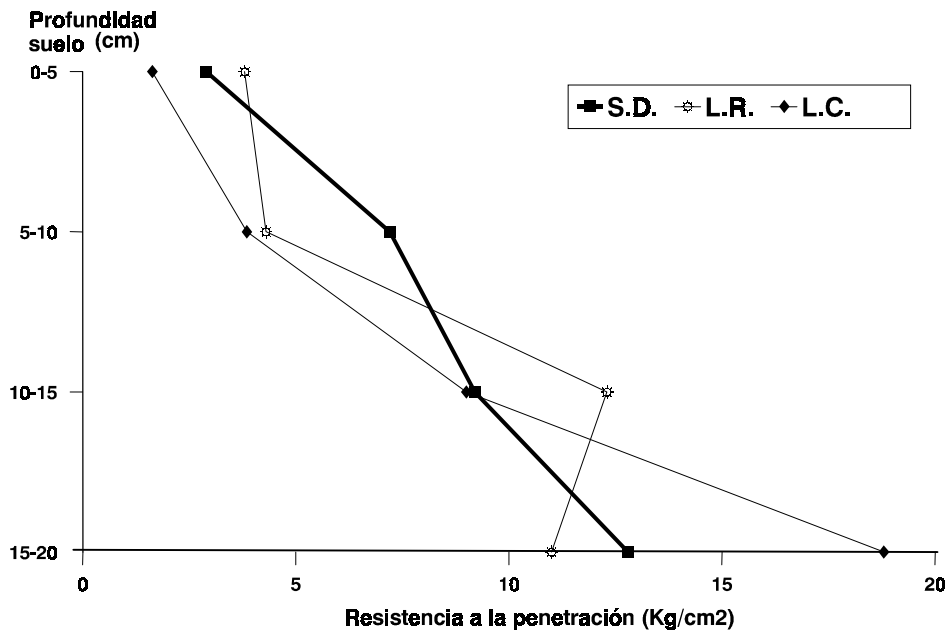
De las Figuras 1a y 1b se puede apreciar que en términos generales, la resistencia a la penetración se comportó de manera diferente de acuerdo a cada labranza y con similar comportamiento para ambas secuencias de cultivos.

La mejor condición para el crecimiento radicular en la primer capa de suelo evaluada fue para LC y luego para SD. La LC presentó los menores valores hasta los 15 cm de profundidad, en que se comenzó a manifestar un piso de arado, que posteriormente produjo los mayores registros de resistencia a la penetración y las peores condiciones para el crecimiento radicular (Figuras 1a y 1b).

La SD presentó los valores más altos en la capa de 5-10 cm y luego arrojó registros similares e inferiores a LC; en cambio la LR mostró los más altos valores a 0-5 cm. En este sistema de laboreo el encostramiento y la densificación del suelo fueron los mayores por efecto de la labor producida por los implementos de discos (Figuras 1a y 1b).

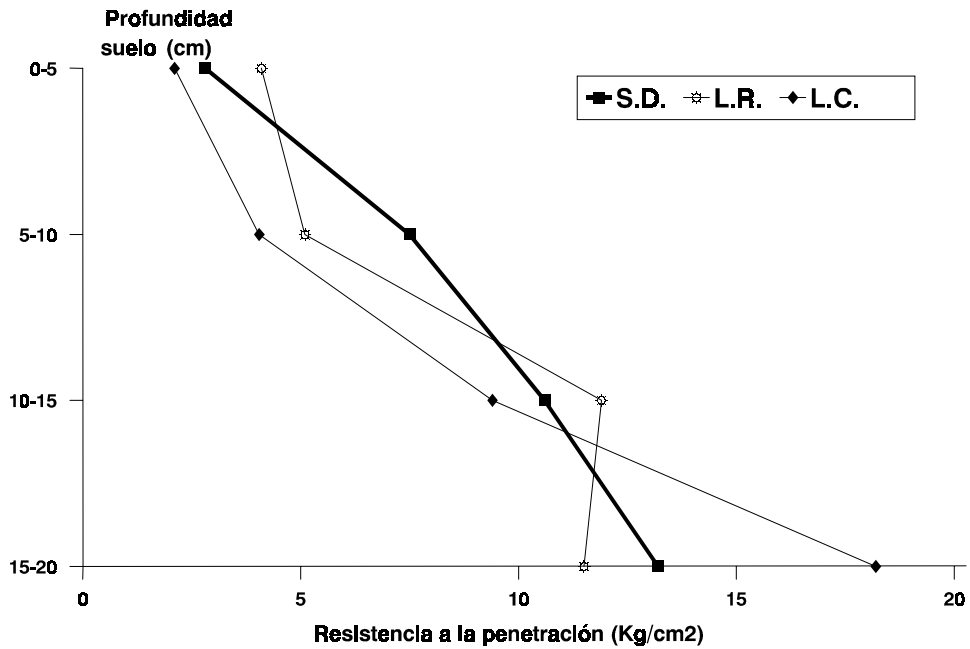
Los resultados indican que las diferentes labranzas provocan diferentes estados estructurales en las distintas profundidades del suelo.

Los valores que se incrementan en forma brusca al pasar de una profundidad del suelo a la siguiente, como por ejemplo con la LC y la LR, indican la presencia de capas densificadas por efecto del tipo de labranza. En cambio con la SD el aumento de la resistencia a la penetración fue más gradual con el aumento de la profundidad del suelo. Esto manifiesta mejores condiciones estructurales que las restantes labranzas.



SD = Siembra Directa, LR = Labranza Reducida y LC = Labranza Convencional

Figura 1a. Resistencia a la penetración en el suelo en la Secuencia T/S - M con tres labranzas



SD = Siembra Directa, LR = Labranza Reducida y LC = Labranza Convencional

Figura 1b. Resistencia a la penetración en el suelo en la Secuencia T/S con tres labranzas

Infiltración acumulada de agua

La captación y posterior almacenaje del agua de lluvia es el factor decisivo de los rendimientos en los cultivos de secano. Los sistemas de labranzas modifican significativamente esos factores mencionados, siendo las conservacionistas las más favorables.

Los valores de infiltración acumulada de agua durante tres horas y al noveno año de iniciada la experiencia, se presentan en la Figura 2. Cabe aclarar que se presentan los datos con las tres labranzas, pero no discriminados por las secuencias T/S-M y T/S, pues los valores fueron muy similares entre sí.

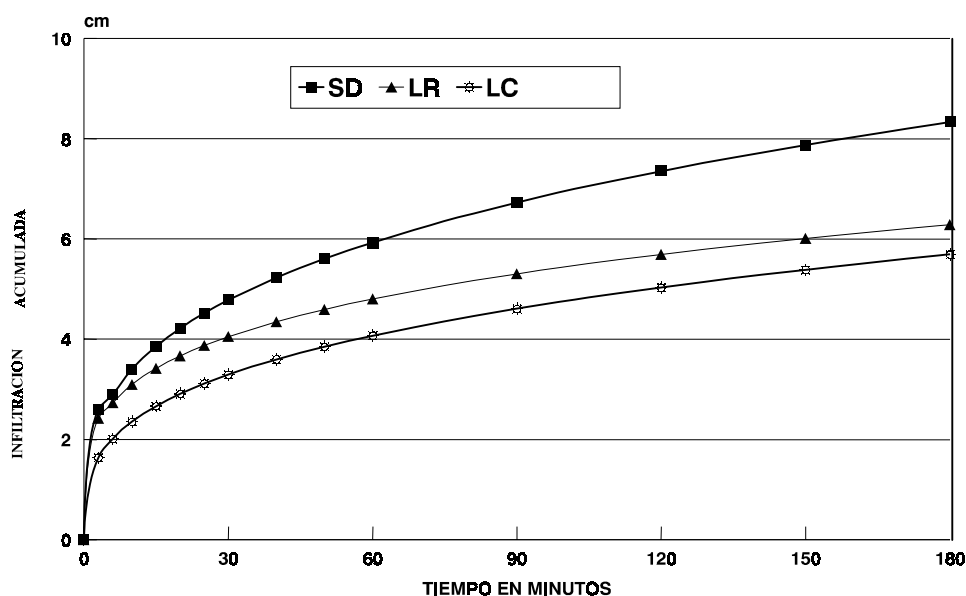


Figura 2. Infiltración acumulada de agua en el suelo luego de 9 años de agricultura continua y promedio de dos secuencias: T/S-M (Trigo/Soja-Maíz) y T/S (Trigo/Soja)

La infiltración acumulada fue mayor con la SD, que a las tres horas superó en 26 y 24% la cantidad de agua infiltrada con los tratamientos de LR y LC respectivamente. La SD provocó los mayores registros como consecuencia de una mejor condición superficial del suelo, provocada por una mayor cobertura de rastrojos, estabilidad de agregados (Cuadros 3 y 4, págs.278 y 279) y poros grandes y chicos principalmente (Cuadro 5 pág 280). Asimismo, si bien no se presentan datos, con la SD no se registró encostramiento, como se observó en la LC. Similares resultados fueron informados por Lattanzi y Marelli (1982); Senigagliesi y Zeljkovich (1988); Garay (1986); Marelli (1990) y Fontanetto et al. (1990). La LR tuvo un comportamiento similar a LC en ambos suelos.

Experiencias realizadas en la EEA Rafaela del INTA con el uso de simuladores de lluvia, mostraron las pérdidas de suelo y agua que pueden darse con una lluvia de una intensidad de 50 mm/hora en áreas planas con pendientes inferiores al 0,3 % (Figura 3).

El sistema de SD impidió tanto las pérdidas de agua como las de suelo, en cambio con LC se perdieron el 16 % del agua caída y 254 kg/ha de suelo de la capa arable. Con la LR se disminuyen notablemente esas pérdidas.

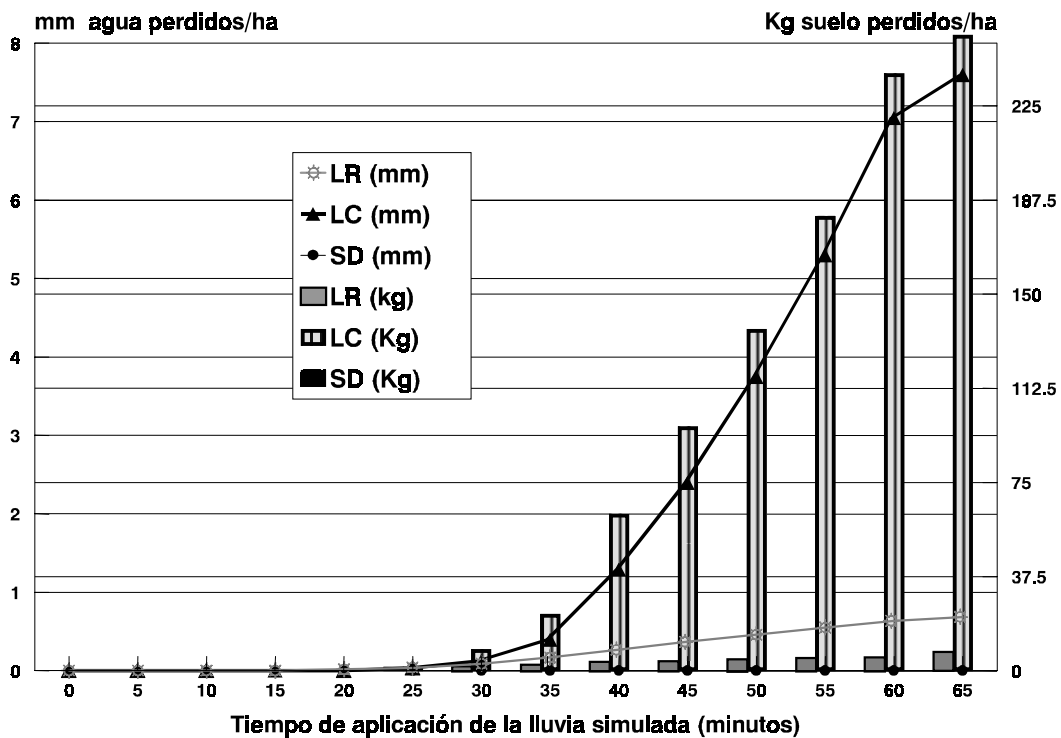


Figura 3. Pérdidas de agua y de suelo luego de 9 años de agricultura continua y con diferentes labranzas luego de una lluvia simulada de 50 mm/hora. Las líneas corresponden a las pérdidas de agua (mm) y las barras a las pérdidas de suelo (kg/ha) con LR, LC y SD.

En lo que se refiere al almacenamiento del agua de lluvia, se registró un comportamiento distinto de acuerdo a la labranza empleada y a la secuencia de cultivos (Figuras 4 y 5).

La SD permitió almacenar las mayores cantidades de agua disponible según pudo medirse 24 horas después de finalizada la precipitación (Figura 4). Este comportamiento se dio con las dos secuencias de cultivos ensayadas, pero las diferencias a favor de la SD respecto a LR y LC fueron mayores con la secuencia T/S-M que con la T/S (Figuras 4 y 5).

Con LC se obtuvieron los menores valores de agua útil, como consecuencia del planchado y encostramiento de suelo producido con la misma, provocando pérdidas por escurrimiento y evaporación.

Esto demuestra que con SD la tasa de infiltración es mayor y que el agua no se pierde como en los otros sistemas de labranzas, sino que queda almacenada en el suelo, debajo de la capa de rastrojos.

Rendimiento de los cultivos

Los rendimientos en granos del trigo y la soja con las labranzas evaluadas y con las dos secuencias de cultivos, se detallan en el Cuadro 6.

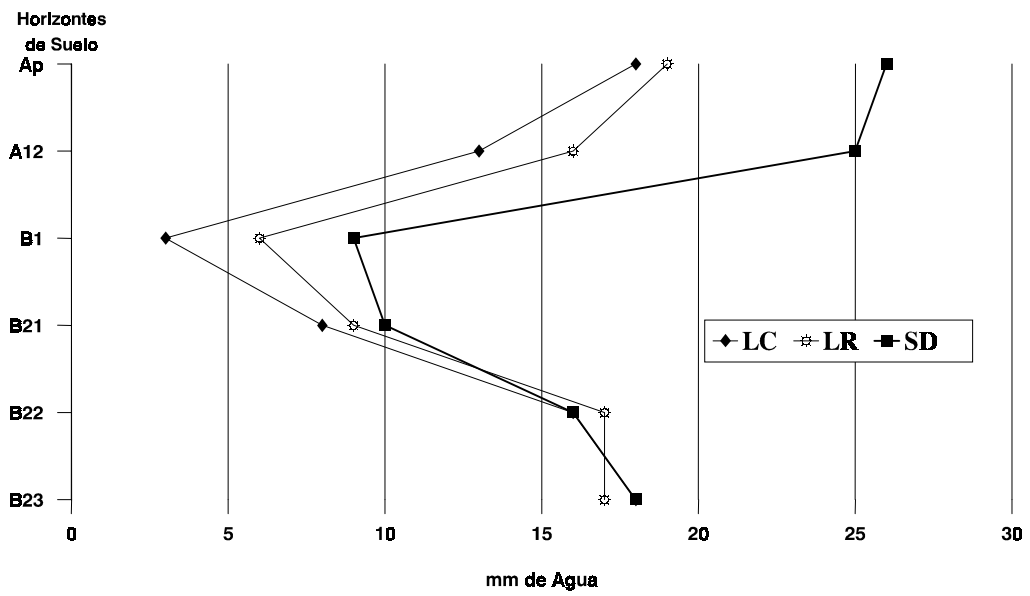


Figura 4. Agua útil hasta 1 metro de profundidad en el suelo 24 horas después de una lluvia simulada de 50 mm y con 9 años de agricultura continua. SECUENCIA T/S.

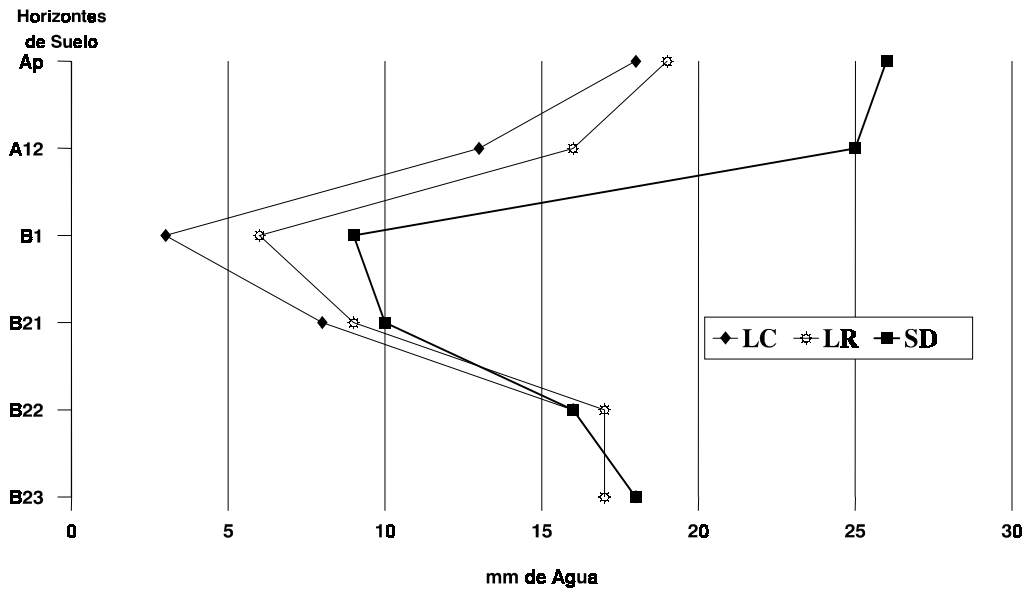


Figura 5. Agua útil hasta 1 metro de profundidad en el suelo 24 horas después de una lluvia simulada de 50 mm y con 9 años de agricultura continua. SECUENCIA T/S-M.

Para ambos cultivos, se obtuvieron mayores rendimientos promedio con la SD, siendo similares entre la LR y la LC. Asimismo, la secuencia T/S-M provocó mayores producciones que la T/S para todas las labranzas evaluadas (Cuadro 6). Resultados similares fueron informados por otros autores (Lattanzi y Marelli, op. cit.; Vivas et al., 1988; Zeljkovich, op. cit.; Fontanetto et al, 1989, 1990).

Cuadro 6. Rendimiento promedio de granos (kg/ha) de los cultivos de trigo y soja en 10 años de agricultura continua, con diferentes labranzas y para dos secuencias de cultivos.

TRATAMIENTOS	TRIGO		SOJA	
	T/S-M	T/S	T/S-M	T/S
SD	2.250 a	1.780 a	2.690 a	2.370 a
LR	1.840 b	1.460 b	2.340 b	2.060 b
LC	1.760 b	1.440 b	2.330 b	1.960 b

SD: Siembra Directa; LR: Labranza Reducida y LC: Labranza Convencional. T/S- M: Trigo/Soja- Maíz y T/S: Trigo/Soja. Medias de tratamientos seguidas por la misma letra no difieren entre sí, (Tukey $P < 0,05$).

Estos resultados demuestran la conveniencia de emplear la SD respecto a las restantes labranzas y también la importancia de incluir al maíz en las secuencias de cultivos en lugar de emplear el trigo/soja continuo.

Conclusiones

- La agricultura continua luego de 9 años produjo disminuciones en todas las propiedades químicas del suelo analizadas, siendo para algunas más acentuada con la labranza convencional y con el doble cultivo trigo/soja.
- Para realizar una agricultura continua más sustentable, es necesario un uso más adecuado del suelo incluyendo cultivos que aporten rastrojos al suelo.
- Las propiedades físicas del suelo se modificaron en forma diferente de acuerdo a la labranza empleada, siendo la siembra directa la alternativa más conservacionista
- La secuencia T/S-M permitió mejor economía en el uso del agua que T/S continua.
- Se midieron mayores producciones de trigo y de soja con la siembra directa y con la secuencia T/S-M (menos intensiva en el uso del suelo).
- Los resultados demuestran la factibilidad de realizar una agricultura continua obteniendo rendimientos satisfactorios y estables en el tiempo, con practicas más conservacionistas.

Literatura citada

- ARONOVICI, V.C.1955. Model Study of ring infiltrometer performance under low initial soil moisture. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 19:1-6.
- BLAKE, G.R.1965. Bulk Density. In: C. A. Black (ed). Methods of soil analysis, part I. Agronomy 9:374-399, Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.

- FEHR, W.R. and CAVINESS, CH.E..1977. Stages of soybean development. IOWA Agric. Ex. Stn.SR-80, 11 p.
- FONTANETTO, H.; GAMBAUDO, S. y VIVAS, H..1989. Siembra directa de soja en condiciones de marcado estrés hídrico en campos de productores. INTA, EEA Rafaela. Area de Investigación en Agronomía. Informe para Extensión N° 110. 4p.
- _____ ; VIVAS, H.; GAMBAUDO, S. y HEIN, W.1990. Condiciones físicas y biológicas de suelos con distintos sistemas de labranza para soja de segunda en campos de productores. INTA EEA Rafaela. Area Investigación Agronomía. Informe para Extensión N° 111. 6 p.
- _____ y GAMBAUDO, S. 1992. Sistemas de labranza para el trigo en el doble cultivo con soja. Influencia sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo y los rendimientos. INTA EEA Rafaela. Area de Investigación Agronomía. Informe para Extensión N° 139. 5 p.
- _____ y GAMBAUDO, S. 1994. Programa Federal de Reconversión Productiva. Cambio Rural, Subprograma Santa Fé. Intensificación Trigo 1994. Serie Trigo 6. Labranzas para el cultivo de trigo y su efecto sobre propiedades del suelo. 5 p.
- _____ y GAMBAUDO, S. 1996. Sistemas de labranzas para el trigo. Su influencia sobre propiedades químicas y físicas del suelo. E.E.A. Rafaela, Centro Regional Santa Fe. Publicación Miscelánea N° 74, 5 p.
- GARAY, A. 1987. Medición de algunas propiedades físicas del suelo en ensayos de labranzas. Informe Anual. INTA, EEA Pergamino. Mimeografiado. 10 p.
- GUTIERREZ, M.; PANIGATTI, J. y QUAINO, O. 1979. Estudio de métodos para la determinación de estabilidad estructural en suelos del centro-oeste de Santa Fe. INTA, EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 1. 29 p.
- HANSEN, O. y ZELJKOVICH, V.1984. Sistemas de labranza en la rotación T/S-M. I Efectos sobre los rendimientos de maíz. III Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. Actas: 174-180.
- HEIN, W.I.H. DE y BRUNO,O.1988. Evolución del nitrógeno y de la actividad microbiana del suelo en una secuencia trigo/soja. INTA, EEA Rafaela. Informe Técnico N° 32. 12 p.
- LAFLEN, J.M.; AMEMIYA, M. and HINTZ, E.A. 1980. Measuring crop residue cover. J. Soil and Water Conservation. 36 (6): 341-343.
- LAL, R.; LOGAN, T.J. and FAUSEY, N. R.. 1989. Long-term tillage and wheel traffic effects on a poorly drained Mollic Ochraqualf in Northwest Ohio. 1. Soil physical properties, root distribution and grain yield of corn and soybean. Soil Tillage Res., 14:341-358.
- LATTANZI, A. y MARELLI, H.. 1982. Avances en investigación sobre comportamiento de los sistemas de labranza conservacionista en la EEA Marcos Juarez. Seminario de Labranza Reducida en el Cono Sur. IICA. CIAAB:67-77.
- LAZZARI, M. 1989. Cambios en la materia orgánica y sus efectos. In: Degradación de suelos por intensificación de la agricultura. INTA, EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 47.

- MARELLI, H. 1990. El doble cultivo trigo-soja. INTA, EEA Marcos Juarez. Informe Especial N° 38. 24 p.
- MOSCONI, F.; HEIN, N. y PANIGATTI, J. 1982. Mapa detallado de suelos de la Estación Experimental Regional Agropecuaria Rafaela (Santa Fe). INTA, EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 13. 36 p.
- SENIGAGLIESI, C. y ZELJKOVICH, V. 1988. Influencia de métodos de labranzas y rotaciones de cultivos. Recuperación de las propiedades alteradas. **In:** Degradación de Suelos por intensificación de la agricultura. INTA, EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 47:77-96.
- SHEAR, G. and MOSCHER, W. 1969. Continuous corn by the no-tillage and conventional tilled methods. *Agron. J.* 61:524-526.
- VIVAS, H. y FONTANETTO, H. 1986. Evolución de algunas condiciones físicas y químicas de suelos con distintos manejos. INTA, EEA Rafaela. Departamento de Agronomía. Información para Extensión N° 84. 6 p.
- VIVAS, S.; GAMBAUDO, S. y FONTANETTO, H. 1987. Condiciones físicas del suelo con diferentes sistemas de labranzas en el doble cultivo trigo-soja. Campaña 1986/87. INTA EEA Rafaela. Dpto. Agronomía. Inf. para Extensión N° 93. 6 p.
- VIVAS, H.; KELLER, O.; TAYLOR, E. y BORSARELLI J. 1987. Siembra directa de soja en campos de productores durante la campaña 1986/87. INTA, EEA Rafaela. Informe para Extensión N° 90. 6 p.
- ZELJKOVICH, V. 1989. Experiencias en sistemas de labranza en la EEA Pergamino. *Producir Conservando: una nueva concepción agrícola.* Cargill Semillas, Serie de Conferencias 1989:15-24.



Nutrición vegetal

Dinámica de nutrientes y fertilización en siembra directa

por José M. Bordoli*

Introducción

A pesar de que la siembra directa (SD) o cero laboreo ofrece varias ventajas respecto a formas convencionales de laboreo de suelos, varios factores han contribuido al lento crecimiento de esta técnica. Estos factores incluyen el lento desarrollo de implementos apropiados de siembra, el alto costo de estos implementos, y la falta de información específica de prácticas de manejo como control de malezas y enfermedades, dosis de fertilización, ubicación de fertilizantes, técnicas de muestreos de suelos para evaluación de la fertilidad, etc.

El cero laboreo produce varios cambios en las condiciones del suelo y de crecimiento de los cultivos. Estos cambios afectan la disponibilidad de nutrientes a diferentes profundidades del suelo, la temperatura y contenido de agua de los suelos, el crecimiento y distribución de los sistemas radiculares, la absorción de nutrientes por parte de los cultivos y la eficiencia de uso de los fertilizantes aplicados. La percepción de serios problemas potenciales en el manejo de la fertilidad en cero laboreo puede retrasar la adopción de esta técnica. Los problemas en el manejo de la fertilización nitrogenada y fosfatada en sistemas de cero laboreo incluyen inapropiada extrapolación de la interpretación de disponibilidad de nutrientes desde labores convencionales, inapropiadas técnicas de muestreo de suelos, e ineficiente ubicación de fertilizantes.

Este artículo pretende discutir brevemente los cambios en la dinámica de los nutrientes más relevantes y algunas consideraciones prácticas en el manejo de fertilizantes en siembra directa.

Algunos cambios producidos por el cero laboreo

En siembra directa o cero laboreo se elimina la inversión del suelo y las únicas perturbaciones que se realizan son en el surco de siembra o cuando se aplican fertilizantes localizados debajo de la superficie del mismo. Esta no perturbación del suelo junto con la acumulación de residuos sobre la superficie produce grandes cambios en la dinámica y distribución de nutrientes al establecerse un sistema de cero laboreo.

El aumento de cobertura del suelo con residuos aumenta la infiltración de agua de lluvia y sirve como una barrera insulada, que reduce la temperatura del suelo y la evaporación de agua. Por esto en sistemas de cero laboreo se ha reportado que los suelos se presentan más fríos, más húmedos, menos aireados, y más densos que bajo laboreo convencional durante la estación de crecimiento (Randall, 1980; Ketchenson, 1980; Moncrief y Schulte, 1982; Hill y Cruse, 1985).

* Ing. Agr., MSc., Cátedra de Fertilidad de Suelos, Facultad de Agronomía, Uruguay. E-mail: jbordoli@fagro.edu.uy

Las menores temperaturas del suelo tienden a retrasar la germinación, emergencia, y crecimiento temprano de los cultivos. Además, el laboreo y la cobertura del suelo por residuos afectan la tasa y el patrón de desarrollo, la morfología, y el tamaño de los sistemas radiculares (Barber, 1971). Los suelos bajo cero laboreo presentan diferente distribución vertical de nutrientes inmóviles (P y K), materia orgánica, actividad microbiana, y raíces de los cultivos. También, la descomposición de residuos orgánicos en la superficie y subsecuente lavado de los resultantes ácidos orgánicos junto con la nitrificación de fertilizantes amoniacales aplicados en superficie, puede producir una capa ácida (1 a 5 cm de espesor) en la superficie de suelos minerales luego de varios años de manejo bajo cero laboreo (Shear y Moschler, 1969; Randall et al., 1985; Eckert, 1985; Grove, 1986; Eckert, 1991).

Estos cambios en contenido y distribución de materia orgánica, pH, y potencial de oxidación afectan la dinámica y disponibilidad de P y N aplicados en superficie, y la eficiencia de uso de los fertilizantes.

Uso de fertilizantes “Starter”

Debido a este efecto del cero laboreo en la temperatura del suelo, en EEUU normalmente se recomienda el uso de fertilizantes P o N-P “starter” o de arranque en bandas cerca de la semilla (Mengel et al., 1992; Randall y Hoef, 1988; Randall et al., 1985; Timmons 1982; Rehm, 1986; Fixen and Wolkoswski, 1981, Farber and Fixen, 1986; Bordoli, 1996). Las cantidades de fertilizante que se pueden agregar de esta forma están limitadas por el efecto salino del fertilizante, el tipo de suelo, las características de la semilla, y la forma de localización del fertilizante respecto a la semilla (junto o debajo y al costado de la misma), etc.

La respuesta a fertilizantes “starter” tradicionalmente ha sido atribuida al P, sin embargo en la zona central y sur del Medio-Oeste de EEUU, son comunes las respuestas a pequeñas cantidades de N como starter. Trabajos de Mengel et al., 1992; Reeves et al., 1986; Touchton, 1988, y Ritchie et al., 1996; demostraron que el N es el nutriente responsable de muchas respuestas a “starter” en sistemas de laboreo conservacionista.

Si la estación de crecimiento del cultivo se ve limitada por bajas temperaturas o falta de agua, la respuesta a la fertilización de arranque aumenta el crecimiento inicial y se transforma en mayor rendimiento en grano (Mengel et al., 1992; Ritchie et al., 1996). Otras veces, si no hay limitantes serias en la estación de crecimiento, la respuesta al “starter” se observa en forma espectacular pero sólo en crecimiento inicial y no en rendimiento final de grano (Bordoli, 1996; Mallarino 1998; Mallarino et al., 1999).

Nitrógeno

Mineralización-Inmovilización

En sistemas de cero laboreo la mineralización de la materia orgánica (m.o.) del suelo se ve reducida, y la no incorporación de los residuos enlentece la mineralización de los mismos. La magnitud del enlentecimiento en la mineralización de residuos dependerá de la cantidad de residuos, del tipo de residuos tanto en su forma física (tamaño, densidad y diámetro) como en su composición química (relación C/N, contenido de lignina, etc.), y de las condiciones climáticas. El aumento en los requerimientos de fertilizante N se debe no sólo a la menor mineralización de los restos y de la m.o. del suelo, sino también a la inmovilización de N ya que en los primeros años usualmente hay una ganancia neta dem.o. del suelo. La inmovilización del N proveniente del fertilizante es más acentuada cuando éste es aplicado en superficie (Kitur et al., 1984; Rice y Smith, 1984; Salet et al., 1997).

Lixiviación de nitrógeno

La mayor infiltración de lluvias, el mayor almacenaje de agua en el perfil, junto a la menor evaporación resultan en un aumento en el potencial de lixiviación de nitratos. Por otro lado, el cero laboreo conduce a largo plazo a una mayor cantidad y continuidad de macroporos (poros realizados por mesofauna y canales dejados por raíces) lo que unido a la mayor infiltración aumenta el riesgo de pérdidas por lixiviación a través de flujo preferencial de fertilizantes aplicados sobre la superficie del suelo (Sharpley y Smith, 1993).

Desnitrificación

Como es esperable debido a la mayor humedad, a la menor fluctuación de la temperatura diaria, y la mayor acumulación de residuos orgánicos en la superficie del suelo, usualmente hay mayor actividad microbiana en superficie de los suelos bajo cero laboreo comparados con suelos bajo laboreo convencional (Doran, 1980). Normalmente hay también una mayor presencia de bacterias anaerobias lo cual resulta en menor potencial de oxidación y mayores pérdidas de NO_3 por desnitrificación en suelos no laboreados (Linn y Doran, 1984).

Volatilización de Amoníaco

Asimismo, las oportunidades de incorporación de fertilizantes nitrogenados en el suelo debajo de la capa de residuos se ve limitada en este sistema, por lo cual las pérdidas por volatilización de NH_3 cuando se aplican fertilizantes amoniacales en superficie se ven incrementadas (Keller y Mengel, 1986; Urban et al., 1987; Stecker et al. 1993). Esto es especialmente importante al aplicar urea ya que produce un pH alcalino en la zona de disolución.

Reportes de Argentina indican una mayor eficiencia por unidad de nitrógeno del Nitrato de Amonio Cálcico (CAN) que de la urea y el Nitrato de Amonio (UAN) cuando los fertilizantes son aplicados superficialmente a la siembra y al macollaje del trigo (García, 1997; García et al., 1997a). A su vez algunas evaluaciones en maíz en Argentina indican que bajo SD las aplicaciones superficiales de urea resultan en eficiencias de uso del N significativamente menores que CAN o UAN chorreado (García et al., 1997b). Por último, Sainz Rosas et al. (1997) reportaron pérdidas por volatilización de amoníaco del 2 al 11% y del 5 al 13% del N aplicado superficialmente como urea a la siembra y al estado de 5-6 hojas de maíz bajo SD.

Aplicación de Fertilizantes Nitrogenados

Si bien las pérdidas de N asociadas a impactos de mineralización de materia orgánica pueden verse reducidas en cero laboreo (ya que se elimina el impacto de mineralización producido por el laboreo cuando no hay cultivos creciendo y absorbiendo nitrógeno), la forma, fuente y momento de aplicación de fertilizantes toma mayor relevancia para aumentar su eficiencia al aumentarse las potenciales pérdidas de eficiencia por inmovilización de fertilizantes en superficie, volatilización de NH_3 y lixiviación de NO_3 .

Dosis de fertilizante nitrogenado

La dosis de fertilizante N a agregar a un cultivo debe determinarse en base a la diferencia existente entre lo requerido por el cultivo y lo suministrado por el suelo. El fertilizante a agregar es un complemento a lo que aporta el suelo.

Usualmente se han reportado mayores requerimientos de fertilizantes nitrogenados en SD, al menos hasta que el suelo logre un nuevo equilibrio en materia orgánica. Resultados nacionales (Sawchik, 1991, 1992) muestran mayores respuestas al agregado de N al inicio de un sistema de SD.

Sin embargo 34 ensayos de trigo realizados durante 1997-1999 en sistemas con más de tres años de siembra directa, mostraron una respuesta muy variable a la fertilización nitrogenada, con sitios con respuestas de más de 30 kg de trigo por unidad de N y sitios sin respuesta. Estas variaciones en respuesta se relacionaron con cultivo anterior, años de instalado el sistema de siembra directa, y con indicadores objetivos cuantitativos de suelo (N-NO₃ a macollaje temprano). (Bordoli, 1998; Bordoli et al 1999)

Las herramientas de diagnóstico y los niveles críticos usados para decidir la dosis de fertilizante N a agregar no parecen verse influidas por el sistema de laboreo (Bordoli, 1998; Bordoli et al., 1999; Perdomo, comunicación personal). Meisinger et al. (1992) reportan similares valores críticos para N-NO₃ en el suelo al estado de seis hojas en maíz independiente del sistema de laboreo.

Momento

Las menores temperaturas del suelo tienden a retrasar la germinación, emergencia, y crecimiento temprano de los cultivos en S.D. Esto indicaría que el fraccionamiento del fertilizante N sería más importante en SD para mejorar el uso del fertilizante al acompañar la disponibilidad de nitrógeno con los mayores requerimientos del cultivo. Bordoli et al. (1999) reportan en 34 ensayos de trigo, una mayor eficiencia en producción de grano de las dosis de N aplicadas al macollaje que a la siembra.

Forma de aplicación y fuente

Debido a las mayores probabilidades de pérdida de nitrógeno en cero laboreo en aplicaciones en cobertura, sobre la superficie del suelo sería conveniente la aplicación de fertilizante N localizado e incorporado por debajo de la capa de residuos (Griffith et al., 1977). Esta localización disminuiría las pérdidas de eficiencia por inmovilización en los residuos, volatilización de amonio y lixiviación por flujo preferencial. Esta localización mejoraría además la disponibilidad posicional del fertilizante, al aplicarse cerca de las raíces del cultivo (Griffith et al., 1977; Phillips et al. 1990, citados por Mengel et al. 1992). En el caso de no disponer de implementos para esta aplicación localizada cerca de la semilla (o de la planta en el caso de fraccionamientos), podría ser conveniente la aplicación de NO₃NH₄ en vez de urea para reducir posibles pérdidas por volatilización de amonio, si el aumento en eficiencia justifica el mayor costo de la unidad de N proveniente de esta fuente.

Sin embargo, en la zona de Soriano (Uruguay) en nueve ensayos de S.D. entre 1997-99, no se encontraron ventajas en producción de trigo por incorporar la urea al suelo en vez de agregarla al voleo sobre el suelo, o por usar nitrato de amonio aplicado sobre el suelo en vez de urea (Bordoli et al., 1999). Esos mismos años, tampoco se encontraron ventajas por usar Nitrato de Amonio (NA) o Nitrato de Amonio Cálcico (CAN) en vez de urea, aplicados sobre la superficie del suelo en 26 ensayos de trigo (Bordoli et al., 1999).

Nutrientes no móviles: fósforo y potasio

La falta de incorporación de las aplicaciones en superficie de fertilizantes fosfatados y potásicos y de los residuos de los cultivos, junto con el ciclaje de nutrientes a través de la absorción de los cultivos desde capas más profundas del suelo produce estratificación de estos nutrientes inmóviles en la superficie del mismo (Shear y Moschler, 1969; Griffith et al., 1977; Ketchenson, 1980; Randall, 1980; Timmons, 1982; Moncrief y Schulte,

1982; Cruse et al., 1983; Mackay et al., 1987; Karathanasis y Wells, 1990; Karlen et al., 1991; Rehm et al. 1995). Esta estratificación junto a cambios en las relaciones cantidad/intensidad en profundidad (derivados de los cambios en pH, m.o., etc.) resultan en que los cultivos presentan una alta dependencia de estos nutrientes concentrados en los primeros centímetros de suelo.

Existe preocupación de que la acumulación de P y K cerca de la superficie puede resultar en menor disponibilidad para las plantas dado la mayor probabilidad de condiciones secas del suelo en superficie. La ocurrencia de déficit de agua en los primeros centímetros de suelo dependerá no sólo de las condiciones climáticas, sino también y en gran medida de la cantidad y tipo de residuos en superficie que afectarán la tasa de evaporación (Yibirin et al., 1993).

Investigadores de las áreas más lluviosas del sur y este del cinturón de maíz de EEUU han reportado que no existiría disminución en la disponibilidad de nutrientes inmóviles debido a la estratificación superficial de los mismos bajo cero laboreo, al menos durante estaciones normales de crecimiento (Singh et al., 1966; Molscher y Martens, 1975; y Belcher y Ragland, 1972). El éxito de la aplicación en superficie ha sido atribuido al incremento en la actividad radicular en esta zona de alta fertilidad debido al alto contenido de humedad del suelo bajo la capa de residuos vegetales y la adecuada lluvia recibida durante la estación de crecimiento.

Sin embargo, si la superficie del suelo se seca, las raíces se vuelven inactivas, los nutrientes reducen su disponibilidad y la absorción por los cultivos se verá reducida, especialmente si las capas más profundas del suelo poseen baja disponibilidad de nutrientes. Esta situación fue observada por Mackay et al. (1987), Timmons et al. (1984), Havlin (1987), Eckert y Johnson (1985), Bordoli (1996) y Bordoli y Mallarino (1998), sugiriendo que la estratificación de nutrientes inmóviles puede ser un problema significativo en zonas más secas (particularmente para potasio). Mackay et al. (1987), en Illinois, concluyen que la ubicación profunda de los fertilizantes fosfatados y potásicos sería deseable luego de varios años de continuo cero laboreo para proveer estos nutrientes a las raíces que crecen a mayor profundidad en el perfil del suelo.

Bordoli y Mallarino (1998) reportan que en 26 sitios-años en Iowa (750-1000 mm de precipitación anual) no hubo diferencias en rendimiento debido a tres diferentes formas de aplicación (al voleo superficial, bandeado profundo a 15-18 cm. o bandeado 5 cm debajo y 5 cm al costado de la semilla) de P en maíz en sistemas de cero laboreo. Sin embargo el bandeado profundo de K resultó en mayores rendimientos de maíz en los sitios donde ocurrió un período, de al menos 15 días, sin precipitaciones durante la etapa de mayor absorción de potasio (entre 8 y 18 hojas del maíz). A pesar de esto, los aumentos en rendimiento de maíz difícilmente paguen el mayor costo de estas aplicaciones profundas.

Otro problema asociado a esta estratificación de nutrientes inmóviles es la profundidad de muestreo de suelos para estimar disponibilidad de nutrientes. Se ha sugerido una profundidad de muestreo menor (0-7,5 cm) a la convencional como forma de no subestimar la disponibilidad para los cultivos. Pero al cambiar la profundidad de muestreo es necesario proceder a calibrar estos valores para interpretarlos correctamente en términos de disponibilidad para el cultivo y redefinir niveles críticos (Bordoli, 1996). En las condiciones de Iowa (EEUU) para profundidades de muestreo de suelo similares (0-15 cm), el sistema de laboreo no parece influir los niveles críticos ni pautas de calibración de P Bray N°1 para maíz. Esto permitiría, en esas condiciones, usar las mismas pautas de fertilización fosfatada en cero laboreo que en siembras convencionales (Bordoli, 1996; Bordoli y Mallarino, 1998).

Basados en 21 ensayos realizados en Uruguay entre 1997-99, Bordoli et al. (1999) concluyen que es poco probable lograr aumentos de rendimiento por fertilización fosfatada en trigo en SD si el suelo posee 13-14 ppm de P (Bray N°1) en los primeros

20 cm de profundidad. Estos niveles críticos son similares a los reportados por Pérez Sanabria et al. (1981) para trigos con laboreo convencional, en los mismos tipos de suelo de texturas medias y pesadas del litoral oeste del país.

Otro problema asociado al cero laboreo es el aumento en la variabilidad espacial de nutrientes derivada de la eliminación de la mezcla de fertilizante-suelo producida por el laboreo y del uso más frecuente de aplicaciones localizadas; esto conduce a la necesidad de redefinir técnicas de muestreo (al azar, en transectas, etc.) y el número de tomas necesarias para obtener muestras representativas.

Literatura citada

- BARBER, S.A. 1971. Effect of tillage practice on corn (*Zea Mays* L.) root distribution and morphology. *Agron J.* 63: 724-726.
- BELCHER, C.R. and RAGLAND, J.L. 1972. Phosphorous absorption by sod-planted corn (*Zea mays* L.) from surface applied phosphorous. *Agron. J.* 64:754-757.
- BORDOLI, J.M. 1996. Phosphorus and potassium placement for no-till corn. M. Sci. Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa.
- _____; QUINCKE, A. y MARCHESSI, A. 1999. Fertilización NP de trigo en siembra directa. Resultados 1997/1998. p 26-35. En Resumen de trabajos de la 7^o Jornada Nacional de Siembra Directa. 24 de Setiembre de 1999, Mercedes, Uruguay.
- _____. 1998. Fertilización NP de trigo en siembra directa. Resultados de 1997. p 19-21. In: Resumen de trabajos de la 6^o Jornada Nacional de Siembra Directa. Octubre de 1998, Mercedes, Uruguay.
- _____ and MALLARINO, A.P. 1998. Deep and shallow banding phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agron. J.* 90:27-33.
- CTIC. 1995. National crop residue management survey. Conservation Technology Information Center. West Lafayette, IN.
- CRUSE, R.M.; YAKLE, G.A.; COLVIN, T.C.; TIMMONS, D.R. and MUSSLEMAN, A.L. 1983. Tillage effects on corn and soybean production in farmer-managed, university-monitored field plots. *J. Soil Water Conserv.* 38: 512-515.
- DORAN, J.W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduce tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:765-771.
- ECKERT, D. J., and JOHNSON, J. W. 1985. Phosphorus fertilization in no-tillage corn production. *Agron. J.* 77:789:792.
- _____. 1985. Effect of reduced tillage on the distribution of soil pH and nutrients in soil profiles. *J. Fert. Issues.* 2:86-90.
- _____. 1991. Chemical attributes of soils subjected to no-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 405-409.
- FARBER, B.G., and FIXEN, P.E. 1986. Phosphorus response of late planted corn in three tillage systems. *J. Fert. Issues.* 3:46-51.
- FIXEN, P.E., and WOLKOWSKI, R.P. 1981. Dual placement of nitrogen and phosphorus on corn and a Plano silt loam. p. 235. In: *Agron. Abstr.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
- GARCÍA, F.O. 1997. La Fertilización en Siembra Directa: Sudeste de Buenos Aires. In: Resúmenes del Seminario Siembra Directa. Experiencias del INTA mirando al futuro. 8 y 9 de octubre de 1997, Buenos Aires, Argentina.

- GARCÍA, F.O.; FABRIZZI, K.P.; BERARDO, A. y JUSTEL, F. 1997a. Fertilización nitrogenada de trigo en el sudeste bonaerense: Respuesta, fuentes y momentos de aplicación. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACCS. Carlos Paz, Córdoba.
- _____; FABRIZZI, K.P.; RUFO, M.; y SCARABICCHI, P. 1997b. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires.
- GRIFFITH, D.R.; MANNERING J.V. and MOLDENHAUER, W.C. 1977. Conservation tillage in the eastern corn belt. *J. Soil Water Conserv.* 32:22-28.
- GROVE, J.H. 1986. The development and control of surface soil acidity under conservation tillage. *J. Fert. Issues.* 3:52-61.
- HAVLIN, J.L. 1987. Fertilizer management for no-till irrigated and dryland corn. *J. Fert. Issues.* 4:60-67.
- HILL, R.L. and CRUSE, R.M. 1985. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1270-1273.
- KARATHANASIS, A.D., and WELLS, K.L. 1990. Conservation tillage effects on the potassium status of some Kentucky soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:800-806.
- KARLEN, D.L.; BERRY, E.C.; COLVIN, T.S. and KANWAR, R.S. 1991. Twelve-year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in northeast Iowa. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22:1985-2003.
- KELLER, G.D., and MENGEL, D.B. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1060-1063.
- KETCHENSON, W.J. 1980. Effect of tillage on fertilizer requirements for corn on a silt loam soil. *Agron. J.* 72:540-542.
- KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L. and FRYE, W.W. 1984. Fate of 15N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. *Agron. J.* 76:240-242.
- LINN, D.M., and DORAN, J.W. 1984. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:794-799.
- MACKAY, A.D.; KLADIVKO, E.J.; BARBER, S.A. and GRIFFITH, D.R. 1987. Phosphorous and potassium uptake by corn in conservation tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:970-974.
- MALLARINO, A.P.; BORDOLI, J.M. and BORGES, R. (1999). Phosphorus and Potassium Placement Effects on Early Growth and Nutrient Uptake of No-Till Corn and Relationships with Grain Yield. *Agron. J.* 91: 37-45.
- _____. 1998. Métodos de Fertilización con Fósforo y Potasio para Maíz y Soja en Siembra Directa: Recientes Avances en el Cinturón de Maíz. p. 27-41. **In:** Conferencias del 6º Congreso Nacional de AAPRESID, Tomo I, agosto de 1998, Mar del Plata, Argentina.
- MEISINGER, J.J.; BANDEL, V.A.; ANGLE, J.S.; O'KEEFE, B.E. and REYNOLDS, C.M. 1992. Presidedress Soil Nitrate Test evaluation in Maryland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1527-1532.
- MENGEL, D.B; MONCRIEF, J.F. and SCHULTE, E.E. 1992. Fertilizer management. p 83-87. **In:** Conservation tillage systems and management. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, Iowa.

- MONCRIEF, J.F. and SCHULTE, E.E. 1982. Fertilizer placement in tillage systems-Wisconsin. **In:** Proc. of the 34nd. Annual Fertilizer and Agric. Chemical Dealers Conf., Des Moines, IA. 12-13 Jan. Iowa State University, Ames
- MOSCHLER, W.W., and MARTENS, D.C. 1975. Nitrogen, phosphorus and potassium requirements in no-tillage and conventionally tilled corn. *Soil Sci. Am. Proc.* 39:886-891.
- PÉREZ SANABRIA, J; CASTRO, J.L. y MANZINI, E. 1981. Calibración de métodos de análisis de suelos para determinar la fertilización fosfatada del trigo. *Inv. Agron.* N° 2, p 74-79.
- RANDALL, G.W., WELLS, K.L. and HANWAY, J.J.. 1985. Modern techniques in fertilizer application. p. 521-560. **In:** Fertilizer technology and use (Third edition).
- _____. 1980. Fertilization practices for conservation tillage. **In:** Proc. of the 32nd. Annual Fertilizer and Agric. Chemical Dealers Conf., Des Moines, IA. 8-9 Jan. Iowa State University, Ames.
- _____ and HOEFT, R.G. 1988. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: A Review. *J. Prod. Agric.* 1:70-78.
- REEVES, D.W.; TOUCHTON, J.T. and BURMESTER, C.H. 1986. Starter fertilizer combinations and placement for conventional and no-tillage corn. *J. Fert. Issues.* 3:80-85.
- REHM, G.W. 1986. Effect of phosphorous placement on early growth, yield and phosphorous absorption by irrigated corn. *J. Fert. Issues.* 3:12-17.
- _____;EVANS, S.D.; NELSON, W.W. and RANDALL, G.W.. 1988. Influence of placement of phosphorous and potassium on yield of corn and soybeans. *J. Fert. Issues.* 5:6-13.
- _____; RANDALL, G.W.; SCOBIE, A.J. and J.A. VETSCH. 1995. Impact of fertilizer placement and tillage system on phosphorus distribution in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1661-1665.
- RICE, C.W., y SMITH, M.S. 1984. Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils. *Soil Sci. Am. J.* 48:295-298.
- RITCHIE, K.B; HOEFT, R.G.; NAFZIGER, E.D.; BANWART, W.L.; GONZINI, L.C. and WARREN, J.J. 1996. N management and starter fertilizer for 0-till corn. p 55-66. **In:** Illinois Fertilizer Conf. Proc. Jan. 29-31, 1996. Peoria, Illinois. Edited by R.G. Hoelt, 1996.
- SAINZ ROSAS, H; ECHEVERRÍA, H.; STUDDERT, G.; y ANDRADE, F. 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz en siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15: 12-16.
- SALET, R.L.; VARGAS, L.; ANGHINONI, I.; KOCHLANN, R.; DENARDIN, J.; y CONTE, E. 1997. Por que a disponibilidade de nitrogenio e menor no sistema plantio direto?. **In:** Il Seminario Internacional do Sistema Plantio Direto; 6 a 9 octubre de 1997; Passo Fundo; RS; Brasil
- SAWCHIK, J. 1991, 1992. Manejo de cultivos de invierno en siembra directa. **In:** Jornadas de Cultivos de Invierno. INIA La Estanzuela 1991, 1992.
- SHARPLEY, A.N. and SMITH, S.J. 1993. Wheat tillage and water quality in the Southern Plains. *Soil and Tillage Research.* 30: 33-48.
- SHEAR, G.M. and MOSCHLER, W.W. 1969. Continuous corn by the no-tillage and conventional tillage method: A six-year comparison. *Agron. J.* 61:524-526.
- SINGH, T.A.; THOMAS, G.W.; MOSCHLER, W.W. and MARTENS, D.C. 1966. Phosphorous uptake by corn (*Zea mays* L.) under no-tillage and conventional practices. *Agron. J.* 58:147-149.

- STECKER, J.A.; BUCHHOLZ, D.D.; HANSON, R.G.; WOLLENHAUPT, N.C. and McVAY, K.A. 1993. Broadcast nitrogen sources for no-till continuous corn and corn following soybean. *Agron. J.* 85: 893-897.
- TIMMONS, D.R. 1982. Fertilizer placements in tillage systems-Iowa. **In:** Proc. of the 34nd. Annual Fertilizer and Agric. Chemical Dealers Conf., Des Moines, IA. 12-13 Jan. Iowa State University, Ames
- _____; ERBACH, D.C.; CRUSE, R.M. AND COLVIN, T.S. 1984. Fertility management for conservation tillage system. p 20. **In:** North West Res. Cent. Annu. Prog. Rep. 1983. Iowa State University, Ames, IA.
- TOUCHTON, J.T. 1988. Starter fertilizer combinations for corn grown on soils high in residual P. *J. Fert. Issues.* 5:126-130.
- URBAN, W.J.; HARGROVE, W.L.; BOCK, B.R. and RAUNIKAR, R.A. 1987. Evaluation of urea-urea phosphate as a nitrogen source for no-tillage production. *Soil Sci. Am. J.* 51:242-246.
- YIBIRIN, H.; JOHNSON, J.W. and ECKERT, D.J. 1993. No-till corn production as affected by mulch, potassium placement, and soil exchangeable potassium. *Agron. J.* 85:639-644.

Dinámica del nitrógeno en ecosistemas agrícolas: efectos de la siembra directa

por Fernando O. García* y Karina P. Fabrizzi**

El nitrógeno (N) es considerado el nutriente más importante para la producción vegetal por las cantidades requeridas por los cultivos y por la frecuencia con que se observan deficiencias en suelos agrícolas, es así, que la agricultura de altos rendimientos depende del uso de fertilizantes nitrogenados. Las condiciones económicas del sector agropecuario tanto a nivel mundial como nacional y la necesidad de preservar el ambiente,

básicamente los recursos suelo, agua y atmósfera, requieren de un uso más eficiente de los nutrientes.

Para maximizar la eficiencia de uso de N, debemos conocer la dinámica del nutriente en el sistema suelo-planta-atmósfera y cómo el manejo de suelos y cultivos afecta esta dinámica. La Figura 1 muestra un esquema del ciclo terrestre del nitrógeno con las distintas fracciones y transformaciones que las relacionan.

La introducción de labranzas conservacionistas, fundamentalmente la labranza cero o siembra directa (SD), genera cambios en el ambiente edáfico que afectan las transformaciones de N en el suelo. La presencia de residuos en superficie y la falta de remoción altera algunas propiedades físicas que influyen directa e indirectamente en la dinámica del N (Marelli y Arce, 1996, Ferreras et al., 1999, Ferreras et

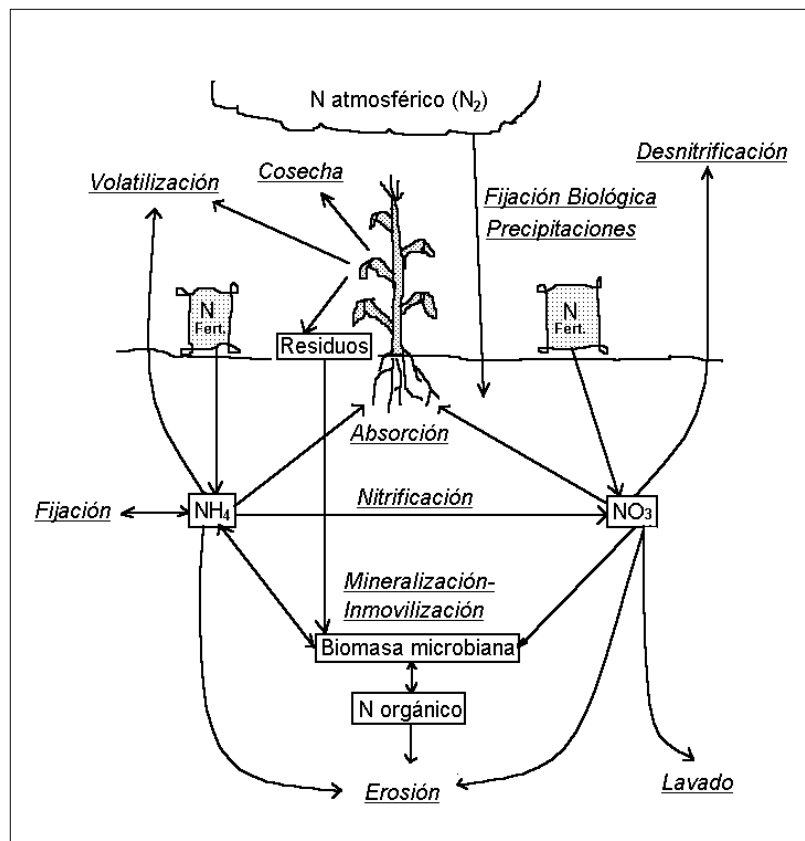


Figura. 1. Representación del ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas.

* Investigador Departamento Agronomía. EEA INTA - Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) CC 276 - (7620) Balcarce - Argentina. Dirección actual: Director Regional INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur - Av. Santa Fe 910 - (B1641ABO) Acassuso - Argentina. E-mail: fgarcia@ppi-ppic.org

** Becaria CONICET. E-mail: karifab@yahoo.com

al.,2000). Bajo SD se origina un ambiente más húmedo que en labranza convencional (LC) debido principalmente a la menor tasa de evaporación por el efecto "mulch". Las variaciones de temperatura bajo SD son menores, y en numerosas experiencias se han reportado temperaturas de suelo menores bajo SD que en LC debido al efecto aislante de los residuos, al menor albedo y al mayor contenido de agua (Marelli *et al.*, 1981, Ferreras *et al.*, 1999, Fabrizzi *et al.*, 2000a). La falta de remoción altera otras propiedades del ambiente físico del suelo como la densidad aparente, la porosidad, la aireación y la resistencia a la penetración (Ferreras *et al.*, 2000).

Los cambios en cantidad y distribución de materia orgánica y propiedades físicas y químicas del suelo resultan en efectos directos e indirectos sobre la dinámica de las poblaciones microbianas. En definitiva, los efectos sobre los microorganismos del suelo se reflejan en la dinámica del N que es gobernada por la actividad microbiana del suelo. La Figura 2 muestra la evolución teórica de la actividad microbiana en suelos bajo SD y LC (Doran, 1990). Durante el invierno la actividad está restringida en ambos sistemas por la baja temperatura y falta de aireación. Al efectuar una labranza se produce un pulso de actividad microbiana en LC debido a la mayor aireación y a la exposición de compuestos carbonados disponibles para los microorganismos. La actividad en SD aumenta de acuerdo a los incrementos en temperatura. Durante el verano, el suelo bajo SD almacena más humedad mientras que en LC, la actividad microbiana está sujeta a cambios bruscos de humedad y a ciclos de secado y rehumedecimiento.

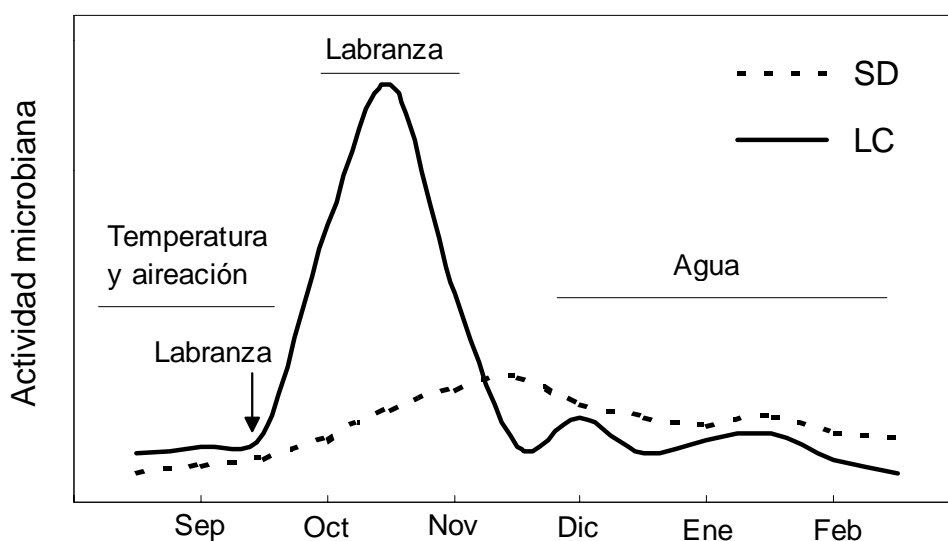


Figura 2. Evolución teórica de la actividad microbiana bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD) y factores que la controlan. Adaptado de Doran (1990).

Los objetivos de este escrito son: i) describir las transformaciones más relevantes del ciclo del N en ecosistemas agrícolas, ii) evaluar los efectos de la SD sobre estas transformaciones, y iii) discutir algunos aspectos del manejo de la fertilización nitrogenada bajo SD. En la discusión se enfatiza el análisis de información generada en Argentina, particularmente en el sudeste de la provincia de Buenos Aires.

Transformaciones del nitrógeno y siembra directa

Fijación de nitrógeno atmosférico

La principal fuente de N se halla en la atmósfera como N_2 , el cual representa aproximadamente 78 por ciento de la composición del aire. Las plantas no pueden absorber directamente el N_2 del aire y éste debe ser fijado por microorganismos de vida libre o simbióticos. La fijación biológica de N_2 (FBN) resulta en la formación de compuestos orgánicos nitrogenados, los cuales ingresan directamente a la planta en el caso de las asociaciones simbióticas, o deben ser mineralizados para ser absorbidos por los cultivos. La FBN contribuye en cantidades variables al sistema suelo-planta dependiendo del tipo de organismo que la lleva a cabo, la planta asociada, y las condiciones de suelo y clima (Cuadro 1).

Cuadro 1. Nitrógeno fijado simbióticamente en distintos cultivos de leguminosas. (Adaptado de Schepers y Mosier, 1991; y Tisdale *et al.*, 1993).

Cultivo	N fijado kg N ha ⁻¹
Alfalfa	114-300
Trébol rojo	115
Trébol blanco	93-143
Vicia	80
Soja	51-195
Arveja	70
Maní	40

Estudios realizados en cinco sitios de la región pampeana argentina han permitido estimar niveles de FBN en alfalfa de 112-408 kg N ha⁻¹ que representan 49-76% del N total acumulado por el cultivo (Brenzoni y Rivero, 1999).

La cantidad de N fijado durante el ciclo del cultivo de soja depende principalmente de la disponibilidad de N del suelo y de las condiciones hídricas (González, 1994). La alta disponibilidad de N en el suelo no inhibe la nodulación de la soja pero disminuye la eficiencia de la fijación, reduciendo

el aporte de FBN a la acumulación total de N. En el sudeste de Buenos Aires, con adecuada disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo se pueden llegar a fijar aproximadamente 90 kg N ha⁻¹ con rendimientos de soja de 4500-5000 kg ha⁻¹. Déficits tempranos de agua (diciembre) resultan en cantidades de N fijadas muy bajas ya que se afecta la iniciación de la formación de nódulos. Déficits de agua durante el período de llenado de granos (febrero) resultan en rendimientos de soja de aproximadamente 3000 kg ha⁻¹ y aportes de N por fijación del orden de los 50 kg ha⁻¹. Si el déficit durante el período de llenado de granos es muy severo, el aporte de N por fijación no es significativo (González, 1994). En la zona norte de la región pampeana, donde es mucho mayor la frecuencia de soja en la rotación y en suelos de menor contenido de materia orgánica, se han reportado aportes de N vía FBN del orden del 40-70 por ciento (González, 1996).

Di Ciocco y Alvarez (2000) evaluaron el efecto de los sistemas de labranzas y la fertilización nitrogenada sobre la nodulación y la actividad nitrogenada en soja resistente a glifosato, encontrando que el peso de nódulos fue tres veces superior en SD que en LC, pero la fertilización no tuvo efecto sobre la biomasa nodular. La producción de etileno también fue mayor en SD. Lett *et al.* (1999) en un ensayo realizado en Azul (Provincia de Buenos Aires) observaron que el establecimiento y el funcionamiento de la simbiosis en soja se optimizó bajo SD, respecto a LC, al posibilitar una infección más temprana y mantener un mejor estado hídrico del suelo.

El N_2 también puede ser fijado por descargas eléctricas en la atmósfera. Este tipo de aportes así como los aportes por las precipitaciones son de poca importancia en sistemas agrícolas de regiones templadas lejos de grandes centros industriales. Determinaciones realizadas en Balcarce (Buenos Aires) a partir del agua de lluvia indican aportes anuales de 3 a 4 kg N ha⁻¹ por esta vía (Cecilia Videla, comunicación personal).

Fracciones de N

La menor descomposición de residuos bajo SD respecto de LC, influye sobre el nivel de N total del suelo, su disponibilidad y la de otros nutrientes. Por lo tanto, todo tipo de labranzas que tienda a acelerar la descomposición de los residuos, acentúa la pérdida de N del suelo y afecta su disponibilidad, comparado con labranzas conservacionistas, que tienden a retardar la descomposición de los mismos. Numerosos estudios mencionan una menor pérdida de C y N orgánico (COT y NOT) del suelo bajo labranzas conservacionistas respecto de LC (Lamb *et al.*, 1985; Bauder y Black, 1981).

La SD resulta en una redistribución del COT y NOT en la superficie del suelo, comparado con sistemas labrados (Doran, 1980). La presencia de residuos en superficie, genera una marcada estratificación de los nutrientes en profundidad a diferencia de los suelos laboreados (Bauder y Black, 1981; Lamb *et al.*, 1985; Wood *et al.*, 1991; Quiroga y Ormeño, 1997; Crespo, 1999). Numerosos autores mencionan bajo SD una redistribución en el perfil del suelo en el COT y NOT debido a la mayor deposición de residuos en superficie y menor remoción del suelo (Doran, 1980; Doran, 1987; Dalal *et al.*, 1991; McCarty *et al.*, 1998).

En experiencias realizadas en el sudeste bonaerense se encontró una mayor y significativa concentración de NOT y COT, en los primeros 5 cm de suelo respecto a 5-20 cm (Fabrizzi *et al.*, 2000a). A su vez, se observó una significativa y mayor relación C/N en SD (14.1) a 0-5 cm respecto a labranza vertical (LV) (12.8). A 5-20 cm, los valores de C/N fueron similares entre labranzas (12.6) (Fabrizzi *et al.*, 2000a). Estos resultados coinciden con los reportados por Crespo (1999) y McCarty *et al.* (1998) quienes encontraron una mayor relación C/N bajo SD en la capa superficial del suelo.

La biomasa microbiana del suelo juega un rol importante en el ciclaje de N como agente de transformación y como fuente-destino del N del suelo (Bonde *et al.*, 1988, Duxbury *et al.*, 1991). Representa sólo una pequeña fracción de la cantidad total de materia orgánica, pero tiene un reciclaje relativamente rápido, con tiempos medios de residencia de 1 a 3 años (Jenkinson *et al.*, 1980; Paul y Voroney, 1980; Schnürer *et al.*, 1985); constituyendo entonces, una fracción activa de la materia orgánica (Smith y Paul, 1990).

La biomasa microbiana ha sido utilizada como un indicador de los cambios inducidos por las prácticas de labranzas, incorporación de residuos, fertilización nitrogenada, secuencia de rotación de cultivos y cambios en el régimen de humedad del suelo (Powlson *et al.*, 1987; Echeverría *et al.*, 1992/93; Rice *et al.*, 1996; McCarty y Meisinger, 1997).

Numerosos trabajos indican que las labranzas reducidas producen variaciones en la distribución vertical del N de la biomasa microbiana (NBM), presentando mayores niveles cerca de la superficie respecto de las labranzas convencionales (Carter y Rennie, 1984; Carter, 1986; Carter y Rennie, 1987, Dalal *et al.*, 1991; Aslam *et al.*, 1999), y niveles similares o más bajos en SD por debajo de los 5 a 7.5 cm de profundidad (Dalal *et al.*, 1991; Doran, 1980; Franzluebbers *et al.*, 1994, Aslam *et al.*, 1999).

García *et al.* (2000) en suelos degradados del sudeste bonaerense, encontraron un mayor NBM bajo SD respecto de LC en uno de dos años de medición. También el sudeste bonaerense, Fabrizio *et al.* (2000b) no encontraron diferencias significativas entre sistemas de labranzas en el contenido de NBM en suelos no degradados. Por lo tanto, el NBM no resultó un buen indicador de los cambios a corto plazo inducidos por el manejo de prácticas de labranzas, incorporación de residuos y fertilización nitrogenada.

Numerosos métodos biológicos y químicos que proveen un índice de disponibilidad de N en el suelo son citados en la literatura (Bremner, 1965; Dahnke y Vasey, 1973). Uno de ellos es la determinación del N orgánico lábil (NOL) a través de la incubación del suelo bajo condiciones anaeróbicas que promueven la mineralización desde formas

orgánicas y la formación del N inorgánico producido (NH_4^+) que permite predecir las cantidades de N más fácilmente mineralizables (Bundy y Meisinger, 1994).

Fabrizzi *et al.* (2000b) encontraron para suelos no degradados del sudeste bonaerense mayores contenidos de NOL bajo SD (21%) respecto a LV a 0-5 cm de profundidad. García *et al.* (2000) para suelos degradados encontraron resultados similares. Por lo tanto, el NOL resultó un buen indicador para detectar en el corto plazo diferencias entre sistemas de labranzas. Doran *et al.* (1998) reportan niveles de N potencialmente mineralizable 20-39% mayores bajo SD respecto de parcelas labradas. Similares resultados fueron registrados por Doran (1980), Doran (1987), Benintende *et al.* (1995), Bergh (1997) y Crespo (1999).

Mineralización-inmovilización

En el suelo, el N se halla fundamentalmente en forma orgánica, la cual representa entre 95% y 98% del N total. El N orgánico es transformado en amonio (NH_4^+) por la acción de la biomasa microbiana (Figura 1). A su vez, el NH_4^+ es oxidado a nitrato (NO_3^-) también por la microflora del suelo. El NH_4^+ y el NO_3^- del suelo pueden ser absorbidos por las plantas o asimilados por la biomasa microbiana del suelo para sintetizar su propio protoplasma.

La transformación del N orgánico en formas inorgánicas es la principal fuente de N disponible en ecosistemas no disturbados y es de fundamental importancia en la nutrición de cultivos con bajos niveles de uso de fertilizantes nitrogenados. Bajo el término mineralización se engloban dos procesos: amonificación, el pasaje de N orgánico a NH_4^+ , y nitrificación, la oxidación de NH_4^+ a NO_3^- . La inmovilización representa la transformación de NH_4^+ y NO_3^- en N orgánico. La amonificación, nitrificación e inmovilización son procesos llevados a cabo por la microflora del suelo. Estos procesos ocurren simultáneamente en el suelo y el balance puede resultar en mineralización o inmovilización neta de N.

En suelos agrícolas, el NH_4^+ originado por amonificación o agregado como fertilizante es rápidamente oxidado a NO_3^- . La nitrificación resulta en la liberación de H^+ que es la causa de la acidificación de suelos producida por fertilizantes que contienen NH_4^+ como la urea, el nitrato de amonio o el amoníaco anhidro. La disminución de pH debida a la aplicación de fuentes de N amoniacales se observa luego de aplicaciones continuas de altas dosis de N durante períodos prolongados y depende principalmente de la capacidad buffer de los suelos. Aplicaciones anuales durante ocho años de 120 kg N ha^{-1} en forma de urea resultaron en disminuciones de pH de 0.39 unidades, 5.72 a 5.33, en suelos argiudoles típicos de Balcarce (Fabrizzi *et al.*, 1998).

La mineralización neta de N a partir de la materia orgánica del suelo ha sido evaluada a partir de métodos bioquímicos (Stanford y Smith, 1972; Rizzalli *et al.*, 1984; Grattone *et al.*, 1991; Echeverría y Bergonzi, 1995). En el Cuadro 2 se muestran las estimaciones de N potencialmente mineralizable (N_0) y N mineralizado durante los ciclos de cultivo de trigo y maíz para suelos del sudeste bonaerense bajo distintas condiciones de manejo (Echeverría y Bergonzi, 1995). El valor inferior de los rangos de N mineralizado corresponde a condiciones de baja disponibilidad hídrica (25% agua útil) y el superior a condiciones de alta disponibilidad hídrica (60% agua útil). En zonas en las que no se dispone de estas estimaciones, la mineralización neta de N se puede inferir a partir del rendimiento de cultivos no fertilizados y la disponibilidad de N a la siembra según la metodología de balances de N (Schepers y Meisinger, 1994).

Bajo SD, la mineralización neta del N de los residuos y del suelo puede verse reducida, especialmente en los primeros años, debido a la mayor cantidad de sustrato en superficie, la alta relación C/N del mismo sustrato, la menor aireación, las menores variaciones en humedad y temperatura y la menor accesibilidad del residuo para ser descompuesto

Cuadro 2. Mineralización de nitrógeno en el sudeste bonaerense (Adaptado de Echeverría y Bergonzi, 1995).

Area	Materia orgánica	Nitrógeno potencialmente mineralizable	N mineralizado para Trigo	N mineralizado para Maíz
	%	mg kg ⁻¹	————— kg ha ⁻¹	—————
Suelos en rotación agrícola por más de cinco años				
Cnel. Dorrego	2,0-2,5	100-120	30-60	40-80
Tres Arroyos	3,0-4,0	140-150	40-80	50-120
Balcarce	5,5-6,0	170-180	45-100	60-150
Suelos bajo pastura				
Balcarce, pastura de 4 años	6,0	214	50-120	60-175
Balcarce, pastura de 5 años	6,5	300	60-170	80-250

por la microflora. En el largo plazo, la mineralización de la materia orgánica bajo SD podría ser igual o mayor a la proveniente de un compartimento más chico, como LC, pero que recicla más rápidamente (Rice *et al.*, 1986).

La microflora de nitrificadores se reduce bajo SD debido al ambiente más húmedo y a la menor aireación (Doran, 1980). Este efecto, junto a la menor tasa de mineralización neta, contribuye a la menor disponibilidad de NO₃⁻ observada bajo SD.

En los primeros años de instalación del sistema de SD, estimaciones de mineralización neta de N orgánico bajo cultivos de trigo, a partir de la absorción de N en cultivos sin fertilizar, mostraron similares valores para SD y LC en la zona serrana del sudeste de Buenos Aires (Cuadro 3) (García y Fabrizzi, 1998, Fabrizzi *et al.*, 2000b). La mayor disponibilidad inicial de N-NO₃⁻ a la siembra bajo LC indicaría que, para las situaciones de suelo y manejo evaluadas, las principales diferencias en abastecimiento de N para trigo entre los dos sistemas de manejo se producen durante el período de barbecho cuando bajo LC se remueve el suelo y las temperaturas son más altas.

A diferencia de lo que se observa en trigo, la mineralización de N orgánico durante el ciclo del cultivo de maíz, estimada a partir de la absorción de N en los tratamientos sin fertilizar, es menor para SD que para LC (Rizzalli, 1998; García y Fabrizzi, 1998, Fabrizzi *et al.*, 2000b) (Cuadro 4). La disponibilidad de N-NO₃⁻ a la siembra es similar o algo mayor bajo LC. La mineralización de N durante el barbecho para cultivos de verano es limitada por las bajas temperaturas (julio-setiembre), mientras que durante el desarrollo del cultivo (octubre-marzo), las temperaturas no son limitantes y la mineralización alcanza su máximo potencial cuando la disponibilidad hídrica es adecuada (Echeverría y Bergonzi, 1995).

En condiciones de laboratorio, en un ensayo de comparación de sistemas de labranzas en el sudeste bonaerense, Fabrizzi *et al.* (2000b) encontraron que el N mineralizado en incubaciones cortas de muestras sin disturbar, presentó significativamente mayores contenidos bajo LV, y estuvo relacionado con la absorción de N de los cultivos. A su vez, en el mismo ensayo se determinó el N potencialmente mineralizable (NPM) bajo SD y LV, a la siembra y cosecha del cultivo de trigo, encontrándose diferencias entre sistemas de labranzas y fecha de muestreo en el NPM y la constante de mineralización (k) (Cuadro 5). El NPM y la k fueron mayores bajo SD que bajo LV. Entre fechas de muestreo,

Cuadro 3. Disponibilidad de $N-NO_3^-$ a la siembra y mineralización de N orgánico estimada durante el ciclo del cultivo de trigo bajo siembra directa (SD), labranza convencional (LC) y labranza vertical (LV) en distintos ensayos del sudeste bonaerense (García y Fabrizzi, 1998, Fabrizzi *et al.*, 2000b).

Ensayo	Sistema	$N-NO_3^-$ siembra	Mineralización estimada
		kg N ha ⁻¹	
EEA Balcarce 1994	SD	41	56
	LC	68	65
San Luis 1996	SD	88	156
	LV	92	142
Grigadale 1995	SD	47	96
Santa Teresita 1996	SD	38	136
Grigadale 1995	LC	87	114
Cinco Cerros 1996	LC	133	100
San Luis 1998	SD	123	118
	LV	124	125

Cuadro 4. Disponibilidad de $N-NO_3^-$ a la siembra y mineralización de N orgánico estimada durante el ciclo del cultivo de maíz bajo siembra directa (SD), labranza convencional (LC) y labranza vertical (LV) en el sudeste bonaerense (Rizzalli, 1998; García y Fabrizzi, 1998, Fabrizzi *et al.*, 2000b).

Ensayo	Sistema	$N-NO_3^-$ siembra	Mineralización estimada
		kg N ha ⁻¹	
EEA Balcarce 1995	SD	39	80
	LC	38	135
San Luis 1995	SD	57	119
	LV	66	155
San Luis 1997	SD	113	190
	LV	109	262

Cuadro 5. Nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) y tasa constante de mineralización (k) en los tratamientos sin fertilización nitrogenada bajo labranza vertical (LV) y bajo siembra directa (SD), a la siembra y a la cosecha del cultivo de trigo. Ensayo San Luis de las Sierras, 1996/97 (Fabrizzi *et al.*, 2000b).

Fecha	Labranza	NPM mg kg ⁻¹	k día ⁻¹
Siembra	LV	225,4	0,0152
Siembra	SD	234,6	0,0122
Cosecha	LV	182,2	0,0238
Cosecha	SD	196,8	0,0334
LSD [#] Labranza		9,36	0,0030
LSD [#] Fecha		25,7	0,0042
LSD [#] Fecha*Labranza		NS	0,0059

Diferencias significativas al 5% de probabilidad. ## Diferencias significativas al 10% de probabilidad.

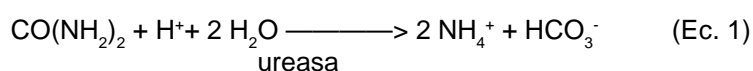
NPM fue mayor a siembra que a cosecha, mientras que k fue superior a cosecha. La disminución del NPM de siembra a cosecha indicaría que esta fracción funcionó como fuente de N para el cultivo. Cabe aclarar que al determinar la fracción mineralizable en muestras disturbadas para sistemas sin remoción, como SD, se puede liberar una fracción lábil a través del manipuleo de la muestra (secado y tamizado) que no se encuentra disponible bajo condiciones de campo, por lo tanto, en futuras investigaciones se debería determinar NPM y k en muestras no disturbadas.

Pérdidas de nitrógeno

Entre las pérdidas de N se deben considerar la volatilización de NH_3 , la desnitrificación, el lavado de NO_3^- y las pérdidas por erosión. Como pérdida de N disponible para las plantas se debe tener en cuenta la fijación de amonio por las arcillas.

Volatilización de amoníaco

Las pérdidas por volatilización de amoníaco (NH_3) se observan cuando se aplican superficialmente urea o fertilizantes que contengan urea. La urea aplicada al suelo es hidrolizada a NH_4^+ en una reacción catalizada por la enzima ureasa:



La hidrólisis de urea resulta en el consumo de H^+ con el consiguiente aumento del pH a valores de 9 o superiores, lo que favorece la formación de NH_3 y, por lo tanto, la volatilización



La volatilización de NH_3 es afectada por factores a) del suelo: pH y capacidad buffer, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y actividad ureásica; b) del ambiente: temperatura, contenido de agua e intercambio de aire; y c) de manejo: presencia de residuos, fuente y dosis de N, método de aplicación y modificaciones del fertilizante (Hargrove, 1988).

La formación de NH_3 a partir del NH_4^+ aumenta exponencialmente a medida que aumenta el pH. Esta es la razón por la cual la volatilización de NH_3 es de importancia cuando se aplica urea, como se explicó anteriormente. Cuando se aplica nitrato de amonio o nitrato de amonio calcáreo (CAN), el pH del suelo no aumenta alrededor del gránulo o zona de reacción, por lo tanto, no se genera una alta concentración de NH_3 que resulte en pérdidas por volatilización.

En general, al acelerarse la hidrólisis con altas concentraciones de urea; pH de suelo de 6,5-7; temperaturas superiores a 15°C y contenidos de agua cercanos a capacidad de campo, la concentración de NH_4^+ y el pH aumentan resultando en mayores pérdidas por volatilización. Las máximas pérdidas por volatilización se observaron con temperaturas superiores a 15°C , contenidos de agua cercanos a capacidad de campo (-0,3 bar) y cuando el suelo se está secando lentamente. Si el suelo se seca rápidamente en superficie, la hidrólisis de la urea se interrumpe y con ella la volatilización. Lluvias o riegos de 10 a 20 mm incorporan la urea y/o el NH_4^+ en profundidad anulando las pérdidas por volatilización.

Las labranzas reducidas que mantienen residuos en superficie pueden resultar en una mayor volatilización de NH_3 cuando se aplican en superficie fertilizantes con urea (Keller y Mengel, 1986; García *et al.*, 1996). Esto se debe fundamentalmente a la alta actividad

ureásica de los residuos que puede ser hasta 20 veces mayor que la del suelo. Otros factores que contribuyen a la mayor volatilización de NH_3 sobre residuos que sobre suelo desnudo son el pH generalmente alcalino de los residuos en descomposición y la dificultad para la difusión de la urea desde el residuo hacia el suelo.

En sistemas de SD, las aplicaciones superficiales de urea o fertilizantes que contengan urea como el UAN (Urea y Nitrato de Amonio), pueden resultar en altas pérdidas por volatilización debido a la alta capacidad ureásica de los residuos. Las alternativas de manejo de fertilizantes para reducir la volatilización incluyen la incorporación del fertilizante, la concentración del fertilizante en bandas superficiales para reducir el contacto con el suelo y/o residuo, el uso de inhibidores de la ureasa o la aplicación con el agua de riego.

Los Cuadros 6 y 7 muestran las pérdidas por volatilización de amoníaco a partir de distintos fertilizantes nitrogenados determinados en ensayos de fertilización de trigo y maíz, respectivamente, bajo SD y LC durante tres años en el sudeste bonaerense (García *et al.*, 1999). Se encontraron diferencias marcadas en las pérdidas de NH_3 volatilizado a partir de las distintas fuentes nitrogenadas. La magnitud de dichas pérdidas estuvo relacionada al sistema de labranzas, y a las temperaturas y precipitaciones ocurridas durante el período de mediciones. En SD, se observó que cuando las temperaturas medias del aire superan los 12-14°C, las pérdidas por volatilización pueden ser importantes, más del 10% del N aplicado (Maíz Puerta del Abra SD). Bajo LC en los ensayos evaluados, hasta los 15°C las pérdidas no fueron importantes. Las lluvias superiores a 5 mm luego de la aplicación del fertilizante redujeron el proceso de volatilización (Trigo Grigadale SD Macollaje, Maíz Santa Teresita LC Sin incorporar). Con UAN chorreado a 35 cm la concentración del producto disminuye las pérdidas respecto a urea significativamente (Maíz Puerta del Abra SD). Cuando el UAN es pulverizado y principalmente bajo SD, las pérdidas pueden ser similares a la urea aplicada superficialmente (Trigo Grigadale SD).

Cuadro 6. Volatilización de N-NH_3 a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente en trigo al macollaje o a la siembra en dosis equivalentes de 60 kg kg N ha⁻¹ (García *et al.*, 1999).

Tratamiento	Grigadale (SD)		Cinco Cerros (LC)	Sta. Teresita (LC)	Puerta del Abra (SD)
	Siembra	Macollaje	Siembra	Macollaje	Macollaje
kg N ha ⁻¹				
Testigo	1,34 b	0,96 b	1,45 a	1,27 b	0,95 b
CAN #	2,11 b	0,64 b	2,70 a	1,29 b	1,20 b
UAN ##	5,59 a	4,70 a	3,28 a	1,17 b	2,65 ab
NA ###			1,62 a	-	1,18 b
SNA ####			1,57 a	-	0,99 b
UREA	4,93 a	4,76 a	1,87 a	3,53 a	3,99 a
DMS (0. 05)	2,29	2,54	NS	1,73	1,82

CAN es nitrato de amonio calcáreo (27% N); ## UAN es la solución de urea + nitrato de amonio (30% N), siempre aplicada en forma chorreada excepto en Grigadale SD donde fue pulverizada; ### NA es nitrato de amonio (33% N); #### SNA es sulfonitrato de amonio (26% N, 14% S).

Cuadro 7. Volatilización de N-NH₃ a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente en maíz a la siembra y al estado de 5-6 hojas desarrolladas (V5-6) en dosis equivalentes de 50 kg N ha⁻¹ en Santa Teresita y 100 kg N ha⁻¹ en Puerta del Abra (García *et al.*, 1999).

Tratamiento	Sta. Teresita (LC)		Puerta del Abra (LC)	Puerta del Abra (SD)	
	Incorporado V5-V6	Sin incorporar V5-6	Sin incorporar Siembra	Sin incorporar Siembra	Sin incorporar V5-6
..... kg N ha ⁻¹					
Testigo	0,70 a	0,71 a	1,34 b	2,49 c	0,99 b
CAN #	0,75 a	0,60 a	1,41 b	3,29 bc	1,17 b
UAN ##	0,71 a	0,79 a	2,34 b	10,4 b	3,68 b
SNA ###	-	-	-	-	1,23 b
UREA	0,86 a	1,38 a	3,60 a	22,5 a	15,6 a
DMS (0.05)	NS	NS	1,23	7,34	6,92

CAN es nitrato de amonio calcáreo (27% N); ## UAN es la solución de urea + nitrato de amonio (30% N), siempre aplicada en forma chorreada; ### SNA es sulfonitrato de amonio (26% N, 14% S).

Investigaciones previas en el sudeste bonaerense también reportan bajos niveles de pérdidas por volatilización en cultivos de trigo bajo LC (Videla, 1995), y pérdidas similares a partir de aplicaciones superficiales de urea en maíz bajo SD al estado de seis hojas desarrolladas (Sainz Rozas *et al.*, 1997). Fontanetto (1999) observó pérdidas por volatilización de hasta 40% del N aplicado en aplicaciones superficiales de urea en el mes de diciembre con altas temperaturas en Rafaela (centro de Santa Fe) (Figura 3). Las pérdidas fueron sustancialmente menores cuando se aplicó UAN chorreado (hasta 11%), y prácticamente nulas con la aplicación de CAN (< 2%).

En numerosas investigaciones se han reportado pérdidas de N en cultivos a la madurez. Estas pérdidas han sido atribuidas principalmente a volatilización de NH₃ y lavado de compuestos nitrogenados solubles, pero aún no se han identificado las fuentes y los

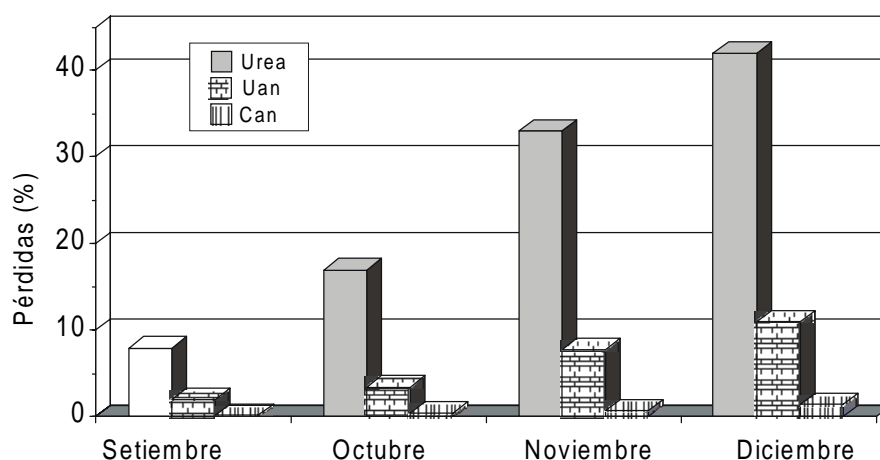


Figura 3. Pérdidas por volatilización de amoníaco a partir de aplicaciones superficiales de urea, UAN y nitrato de amonio calcáreo en dosis equivalentes de 50 kg N ha⁻¹ en el centro de Santa Fe (Argentina) (Fontanetto, 1999).

factores que las controlan. Para las condiciones del sudeste bonaerense se han reportado reducciones de N acumulado en planta de hasta 50 kg ha^{-1} (25% del N acumulado) en trigo entre antesis y madurez fisiológica (Echeverría *et al.*, 1992), 100 kg N ha^{-1} (25% del N acumulado) en soja (González, 1994) y 77 kg N ha^{-1} (30% del N acumulado) en maíz (García *et al.*, 1995).

Desnitrificación

La desnitrificación es la reducción biológica de NO_3^- a formas gaseosas, principalmente óxido nitroso (N_2O) y N_2 , que se pierden a la atmósfera. La liberación de N_2O y NO a la atmósfera tiene implicancias ambientales porque ambos gases afectan la concentración de ozono en la estratósfera y el N_2O es uno de los gases que contribuye al efecto invernáculo y al cambio climático. La desnitrificación ocurre en anaerobiosis, en presencia de bacterias desnitrificadoras y con disponibilidad de carbono. Las pérdidas por desnitrificación del N aplicado como fertilizante son muy variables y pueden llegar hasta 70% del N aplicado, con valores modales que varían de 2,5 a 50% (Vinten y Smith, 1993).

Los dos factores más importantes en la regulación de la desnitrificación son la disponibilidad de NO_3^- y el nivel de O_2 del suelo. En situaciones de acumulación de NO_3^- durante los barbechos o comienzos de crecimiento de los cultivos, la ocurrencia de lluvias intensas puede generar micrositos anaeróbicos o de bajo nivel de O_2 que resultan en condiciones ideales para la desnitrificación.

Por el contrario, la mayor humedad y menor aireación beneficia el desarrollo de desnitrificadores y, por lo tanto, se prevé un mayor potencial de desnitrificación en SD que en LC. La limitante para el proceso de desnitrificación en SD podría ser la reducida disponibilidad de NO_3^- . En suelos del sudeste bonaerense, se han observado tasas de desnitrificación superiores en trigo bajo SD que bajo LC debidas a la mayor concentración de enzima desnitrificadora (Figura 4) (Picone *et al.*, 1997). Estas diferencias se observaron hasta fin del macollaje cuando la disponibilidad de NO_3^- no era limitante en ambos sistemas de labranzas, a partir de ese momento la menor disponibilidad de NO_3^- por la demanda creciente del cultivo resultó en tasas de pérdida similares.

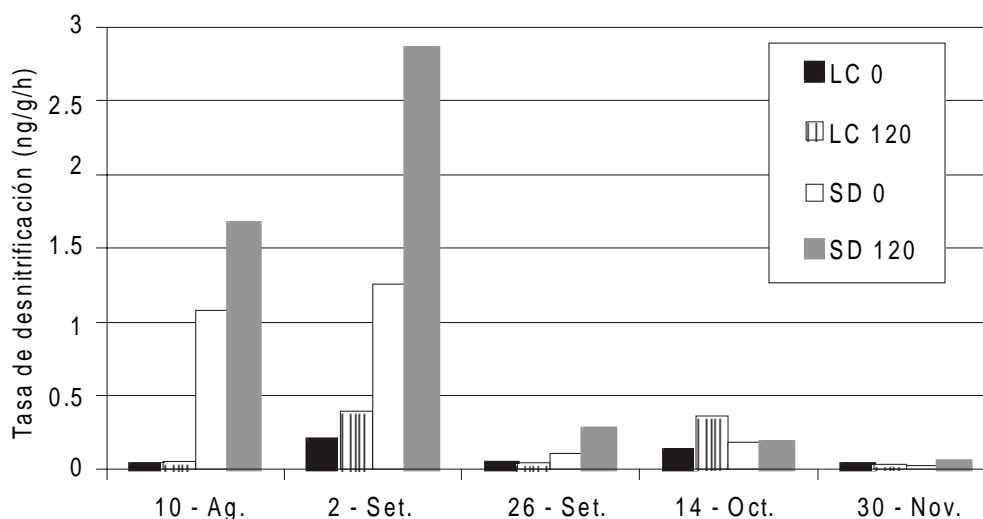


Figura 4. Tasa de desnitrificación bajo SD y LC durante el desarrollo del cultivo de trigo en tratamientos testigo y fertilizados con 120 kg N ha^{-1} a la siembra. Balcarce (Buenos Aires, Argentina) (Picone *et al.*, 1997).

Sainz Rozas *et al.* (2000) bajo las condiciones del sudeste bonaerense estimaron las pérdidas por desnitrificación en un monocultivo de maíz irrigado bajo SD durante dos campañas, 1996/97 y 1998/99. Los resultados indican que las mayores pérdidas de N ocurren cuando el mismo es aplicado al momento de la siembra respecto de la fertilización en V6, sin embargo, las pérdidas por desnitrificación no parecen constituir un mecanismo de pérdida relevante en el balance de N del cultivo de maíz irrigado bajo SD.

En el Cuadro 8 se muestran los porcentajes estimados de pérdidas por desnitrificación propuestos por Meisinger y Randall (1991) para suelos de distinto nivel de materia orgánica y clase de drenaje. Los autores sugieren utilizar los valores máximos de los rangos para cultivos bajo riego o de zonas húmedas, y los valores mínimos para zonas áridas y semiáridas. Para SD, los autores sugieren utilizar los valores de una clase de drenaje más pobre que la correspondiente al suelo para el cual se están estimando las pérdidas.

Cuadro 8. Estimaciones de pérdidas por desnitrificación para varios suelos según Meisinger y Randall (1991).

Contenido de materia orgánica	Clasificación por drenaje				
	Excesivamente bien drenado	Bien drenado	Moderadamente bien drenado	Algo pobremente drenado	Pobremente drenado
%	----- % de N disponible desnitrificado -----				
< 2	2 - 4	3 - 9	4 - 14	6 - 20	10 - 30
2 - 5	3 - 9	4 - 16	6 - 20	10 - 25	15 - 45
> 5	4 - 12	6 - 20	10 - 25	15 - 35	25 - 55

Lavado de NO_3^-

Las pérdidas por lavado de NO_3^- dependen de la cantidad de NO_3^- presente en el perfil y el volumen de agua que percola a través del suelo. Las pérdidas por lavado se pueden reducir minimizando los niveles de NO_3^- en suelo y sincronizando la aplicación de fertilizantes con la absorción de N por el cultivo. Si bien las determinaciones de perfiles de NO_3^- dan indicios acerca de la ocurrencia o no de pérdidas por lavado, la determinación de las cantidades de N pérdidas por esta vía requiere del uso de lisímetros.

Al igual que para el caso de desnitrificación, los períodos de barbecho o de desarrollo inicial del cultivo son los más propensos para observar este tipo de pérdidas (Weed y Kanwar, 1996). Suelos de textura arenosa con mayores tasas de infiltración son los más susceptibles a perder NO_3^- por lavado ante precipitaciones intensas o riegos excesivos.

El efecto de la SD sobre el lavado de NO_3^- depende de la condición inicial del suelo y la distribución de NO_3^- . Edwards *et al.* (1992) observaron que en SD, el agua infiltra principalmente por flujo preferencial a través de los macroporos especialmente cuando el suelo está seco y la intensidad de la lluvia es alta. Si el NO_3^- está concentrado en las capas superficiales y aún no ha difundido a la matriz del suelo, el flujo preferencial aumentará las pérdidas por lavado (Tillman y Scotter, 1991). Si la mayor parte del NO_3^- está distribuido en la solución de la matriz del suelo, el flujo preferencial disminuirá las pérdidas por lavado (Kanwar *et al.*, 1985).

La Figura 5 muestra el perfil de distribución de N- NO_3^- durante el barbecho de trigo en un ensayo de sistemas de manejo de labranzas en el sudeste de Buenos Aires. La

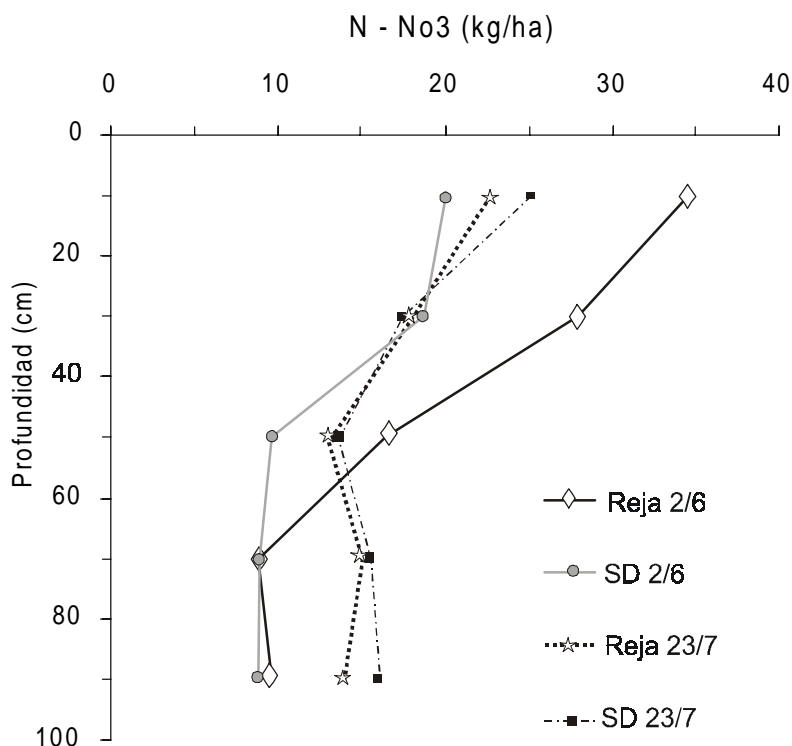


Figura. 5. Perfil de distribución de $N-NO_3^-$ bajo SD y LC en dos fechas de muestreo previas a la siembra de trigo en un suelo argiudol típico de Gral. Alvarado (Buenos Aires, Argentina). Cultivo antecesor: maíz.

acumulación total de $N-NO_3^-$ hasta 1 m de profundidad fue de 96 y 62 $kg N ha^{-1}$ bajo LC y SD, respectivamente, en la primera fecha de muestreo (2/6/97), pasando a 83 y 85 $kg N ha^{-1}$ bajo LC y SD, respectivamente, en la segunda fecha de muestreo (23/7). La pérdida neta de 13 $kg N ha^{-1}$ observada bajo LC puede ser atribuida a desnitrificación y/o lavado de nitratos, ya que entre ambas fechas de muestreo la precipitación fue de 159 mm. Las evidencias de pérdidas por lavado están dadas por la disminución en la cantidad de $N-NO_3^-$ a 0-60 cm y la ganancia de N-nitratos a 60-100 cm. Bajo SD se registró una ganancia neta de 23 $kg N ha^{-1}$ en el perfil analizado. Esta ganancia de N-nitratos se debería al aporte de la mineralización de N orgánico. Sin embargo, bajo SD también se observaron pérdidas por lavado evidenciadas por la ganancia de $N-NO_3^-$ en el estrato de 40-100 cm de profundidad.

Otras pérdidas

Las pérdidas por erosión hídrica y eólica incluyen tanto a la fracción inorgánica como a la fracción orgánica del N del suelo y pueden ser de importancia, especialmente considerando que la capa superficial del suelo es la de mayor concentración de N. Las pérdidas de suelo, y obviamente N, por erosión pueden ser prácticamente nulas bajo SD. En cuanto a la fijación de NH_4^+ , Picone (1978) halló que en horizontes superficiales y subsuperficiales de suelos de la Provincia de Buenos Aires, la fijación del N agregado como fertilizante no fue de importancia, siendo atenuada por la concentración de materia orgánica y el alto nivel de potasio intercambiable.

Balances de N

A partir de los procesos de ganancias, pérdidas y transformaciones de N comentados, se pueden establecer límites en el espacio y el tiempo en el sistema suelo-planta que

permitan definir un balance de N (Meisinger, 1984; Meisinger y Randall, 1991). Un balance general de N en el suelo para un ciclo de cultivo podría definirse según la siguiente ecuación:

$$Nf+Na+Nom+Nii = Np+Ng+NI+Ne+Niin+Nif \quad (\text{Ec. 3})$$

donde Nf = N aportado por el fertilizante; Na = N aportado por fijación biológica y/o lluvias; Nom = N orgánico mineralizado; Nii = N inorgánico inicial; Np = N absorbido por la planta; Ng = N perdido en formas gaseosas (N₂, N₂O o NH₃); NI = N perdido por lavado; Ne = N perdido por erosión; Niin = N inorgánico inmovilizado; y Nif = N inorgánico final.

La formulación de este balance se puede utilizar para estimar las necesidades de fertilización (Nf):

$$Nf = (Np+Ng+NI+Ne+Niin+Nif) - (Na+Nom+Nii) \quad (\text{Ec. 4})$$

La diferencia entre el N orgánico mineralizado y el N inorgánico inmovilizado (Niin) puede ser definida como N mineralizado neto (Nmin). El Na no es significativo para cereales u otras no leguminosas y el Nif debe ser minimizado. Las pérdidas gaseosas, por lavado y por erosión pueden ser estimadas como un porcentaje del N disponible como fertilizante, inorgánico inicial y mineralizado durante el ciclo del cultivo, o simplemente se puede estimar una eficiencia media de uso de N de cada una de estas fracciones para la planta (E) que incluya estas pérdidas.

A partir de estas simplificaciones y considerando el balance sólo para la parte aérea del cultivo la Ec. 4 resulta en:

$$Nf = \frac{Np - (Em * Nmin) - (Ei * Ni)}{Ef} \quad (\text{Ec. 5})$$

donde Nmin = N mineralizado (Nom-Niin); Ni = N inorgánico disponible (Nii-Nif); Em = Eficiencia de uso del N mineralizado; Ei = Eficiencia de uso del N inorgánico disponible; y Ef = Eficiencia de uso del N del fertilizante.

Para resolver esta ecuación podemos estimar Np a partir del rendimiento esperado considerando los requerimientos que se indican en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Requerimientos de nitrógeno de los cultivos (Adaptado de Andrade *et al.*, 1995 e información Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce).

Cultivo	Requerimiento de N
	kg N a absorber para producir 1 t de grano
Trigo	25-30
Maíz	20-22
Soja	73-80
Girasol	40-45

El N_{ii} se puede determinar por muestreo y análisis, debe tenerse en cuenta que este muestreo debe hacerse por lo menos hasta 60 cm de profundidad. El valor de N_{min} se puede aproximar a partir de la información local o estimar a partir del rendimiento de cultivos sin fertilizar para ciclos agrícolas en los cuales no se hayan registrado déficit hídricos significativos y disponiendo de la información de N disponible a la siembra (Schepers y Meisinger, 1994). Esta última forma de estimación es muy útil en situaciones en las cuales no se dispone de información local e involucra el cálculo de N_{min} a partir de la Ec. 5.

Las eficiencias de uso de las fracciones de N disponibles varían principalmente con las condiciones climáticas, de suelo y de manejo. El valor E es distinto para cada fracción de N disponible (N_f , N_{min} y N_i) ya que la eficiencia de uso de N no es igual para todas estas fracciones. Para N_i , E_i puede variar de 0,40 a 0,60. El valor de E_m para N_{min} es mayor ya que la mineralización es favorecida por condiciones de temperatura y humedad que también favorecen el crecimiento y la absorción de N por parte de los cultivos, estimándose un rango de 0,75 a 0,95 (Meisinger, 1984). Para N_f , el valor de E_f depende del tipo de fertilizante, y el momento y forma de aplicación, variando de 0,50 para aplicaciones pre-siembra de trigo a 0,85 en aplicaciones de fertilizante en agua de riego.

Como ejemplo supongamos que se deban estimar las necesidades de fertilización de un lote de maíz con una historia agrícola de 5 años en la zona mixta papera del sudeste bonaerense. Las necesidades de N para toda la parte aérea se estiman en 22 kg N por cada tonelada de grano (Cuadro 9) y se espera un rendimiento de 9000 kg grano ha^{-1} . El N_i , determinado por análisis de $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ en el perfil a 0-60 cm de profundidad, es de 80 kg N ha^{-1} . Se estima una mineralización neta (N_{min}) de 150 kg N ha^{-1} (Cuadro 2). Se toman valores de E_i de 0.6; E_m de 0.85 y E_f de 0.7. Reemplazando en la Ec. 5:

$$N_f = \frac{198 - (0.85 \cdot 150) - (0.6 \cdot 80)}{0.7} = 32 \text{ kg N } ha^{-1}$$

Es decir que los requerimientos de fertilizante serían de 32 kg N ha^{-1} .

Manejo de la fertilización nitrogenada en siembra directa

En los primeros años de SD, las condiciones de menor mineralización neta y mayor desnitrificación observadas bajo SD resultan en una menor disponibilidad de N para los cultivos (Fox y Bandel, 1986). Esta menor disponibilidad de N se evidencia en menores acumulaciones de N mineral (NO_3^- y $N-NH_4^+$) a la siembra y/o una menor oferta de N durante el ciclo del cultivo (Doran, 1990; Bergh, 1993; Rizzalli *et al.*, 1995; Bergh *et al.*, 1996) y, por lo tanto, en la recomendación de mayores dosis de N con respecto al sistema de labranza convencional (Solá *et al.*, 1994; Peterson *et al.*, 1995). Esta situación de menor disponibilidad de N para los cultivos se observa en los primeros años de introducido el sistema de SD, pero posteriormente, la mayor acumulación de N orgánico resultaría en un mayor abastecimiento de N y permitiría disminuir las dosis de N a niveles similares a LC o aún menores (Fox y Bandel, 1986).

Este efecto de menor disponibilidad de N y necesidad de dosis de N superiores a las usadas en LC dependen del cultivo, de las condiciones edáficas y climáticas y de los años de SD continua. Para los primeros años de SD en cultivos de trigo del sudeste bonaerense se han observado respuestas similares en SD y LC en suelos no degradados, pero en suelos degradados la respuesta a la fertilización nitrogenada fue mayor en SD que LC (Figura 6) (Rizzalli *et al.*, 1995; García y Fabrizio, 1998). En maíz se han observado mayores necesidades de N aún para condiciones de suelo no degradado (Figura 7).

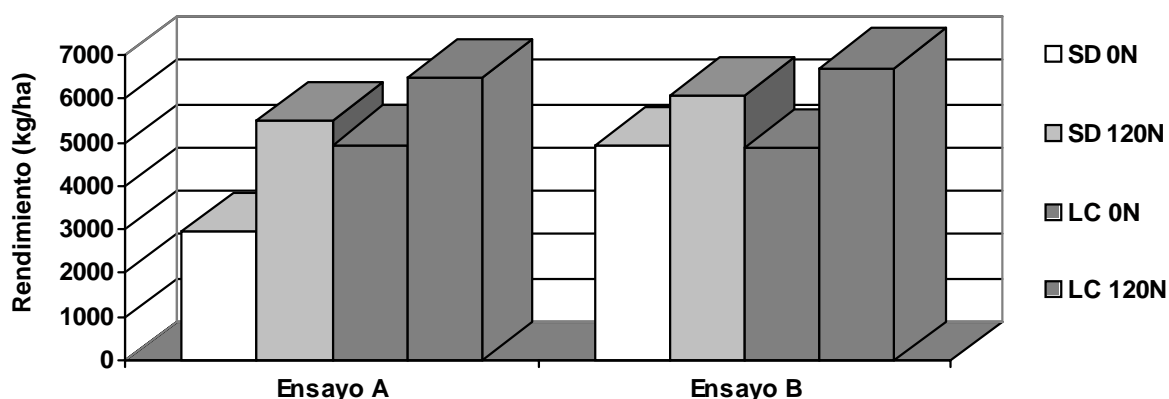


Figura 6. Rendimiento de trigo en los ensayos de labranzas y fertilización realizados en INTA-FCA Balcarce en 1994. Ensayo A, suelo degradado con más de 25 años de agricultura; Ensayo B, suelo no degradado (Rizzalli et al., 1995).

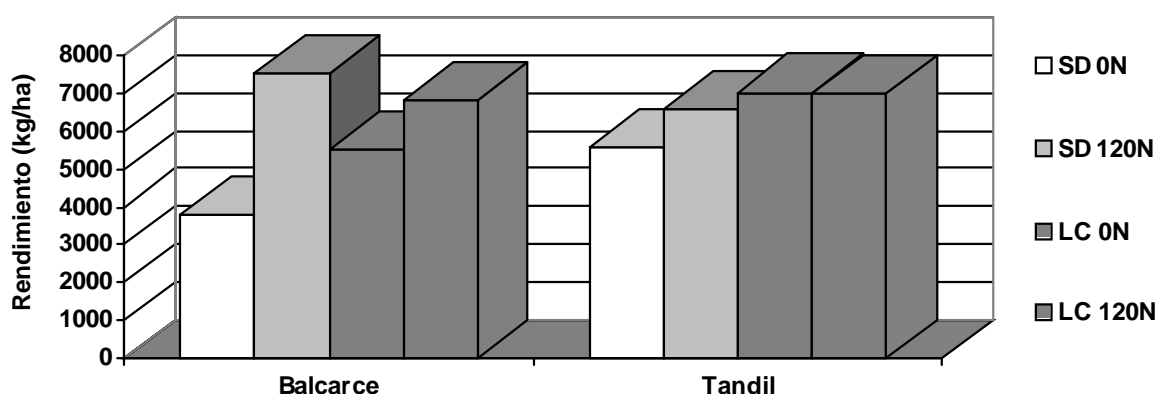


Figura 7. Rendimiento de maíz en ensayos de labranzas y fertilización realizados en 1995. Ensayo Balcarce, suelo degradado con más de 25 años de agricultura; Ensayo Tandil, suelo no degradado con dos años de agricultura (R. Rizzalli y col., com. pers.; F. García y col., com. pers.).

Los métodos de diagnóstico de la fertilización nitrogenada se han evaluado bajo SD en trigo y maíz. En el sudeste bonaerense, el análisis de $N-NO_3^-$ en suelo (0-60 cm) en presiembra de trigo permite diagnosticar las necesidades de fertilización tanto bajo LC como SD (García et al., 1998). Para maíz, se ha calibrado el análisis de $N-NO_3^-$ en suelo (0-30 cm) en distintas situaciones de la región pampeana argentina (Melchiori et al., 1996; García et al., 1997; Echeverría et al., 1999; Sainz Rozas et al., 1999; Ferrari et al., 2000a). Otras metodologías de diagnóstico de la fertilización nitrogenada utilizan

indicadores de planta como la concentración de $N-NO_3^-$ en jugo de base de pseudotallos de trigo (González Montaner *et al.*, 1987; Vigliezzi *et al.*, 1996), o de tallos de maíz (González Montaner y Di Napoli, 1997; Herfurt *et al.*, 1997), y la determinación del “índice de verdor” en hojas (Sainz Rozas y Echeverría, 1999; Ferrari *et al.* 2000a). El uso de modelos de simulación de crecimiento y rendimiento de los cultivos surge como una herramienta de gran interés para el diagnóstico de la fertilización nitrogenada con la posibilidad de evaluar efectos variables de clima y suelo (Calderini *et al.*, 1995; González Montaner *et al.*, 1997; Ruiz *et al.*, 1997).

La fuente y forma de aplicación del N son dos aspectos de la mayor importancia en el manejo del N bajo SD. El N debería aplicarse por debajo de la capa de residuos para evitar: 1) pérdidas por volatilización de NH_3 si se trata de urea o fertilizantes que la contengan, y/o 2) pérdidas por inmovilización del N aplicado que ocurren cualquiera sea la fuente de N aplicada (Carlson *et al.*, 1992; Ferrari *et al.*, 2000b). Las alternativas para mejorar la eficiencia de uso de fertilizantes nitrogenados en aplicaciones superficiales son: i) concentrarlos en bandas para reducir el contacto con los residuos, ii) utilizar inhibidores de la ureasa, y/o iii) recurrir a fuentes alternativas a la urea que no pierdan N por volatilización de amoníaco. Si los fertilizantes se incorporan debajo de la capa de residuos el comportamiento de las distintas fuentes nitrogenadas es similar (Bandel *et al.*, 1984; García y Fabrizzi, 1998; Fontanetto, 1999; Ferrari *et al.*, 2000b).

En ensayos de fertilización de trigo en el sudeste de Buenos Aires, aplicaciones superficiales de urea al voleo o UAN pulverizado presentaron menor eficiencia de uso del N aplicado que UAN chorreado o CAN bajo SD, pero las eficiencias de uso fueron similares bajo LC (Figura 8) (García *et al.*, 1998). Estas diferencias en eficiencias de uso entre fuentes y formas de aplicación del UAN bajo SD son atribuidas principalmente a las pérdidas por volatilización de amoníaco (Cuadros 6 y 7).

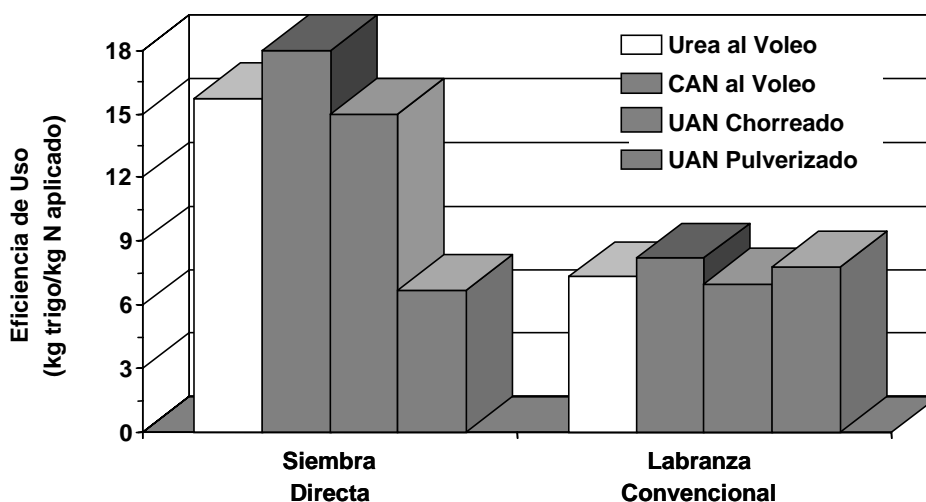


Figura 8. Eficiencia de uso de N aplicado como urea al voleo, CAN al voleo, UAN chorreado y UAN pulverizado en trigo a la siembra bajo SD (4 ensayos) y bajo LC (6 ensayos) en el sudeste bonaerense. Campañas 1995 y 1996 (García *et al.*, 1998).

En maíz, Fontanetto (1999) y Ferrari *et al.* (2000b) encontraron que los efectos sobre el rendimiento de las pérdidas temporarias de N debidas a la intercepción del fertilizante por el residuo y/o a la inmovilización microbiana en aplicaciones superficiales de fertilizantes nitrogenados sobre el rastrojo bajo SD, pueden ser de igual o mayor magnitud que las pérdidas por volatilización (Cuadro 10).

Cuadro 10. Estimaciones indirectas de las magnitudes relativas de pérdidas de nitrógeno, expresadas en rendimiento de maíz, por intercepción/inmovilización y volatilización a partir de aplicaciones superficiales de N con distintas fuentes y localizaciones en cultivos de maíz bajo siembra directa. Adaptado de Fontanetto (1999) y Ferrari *et al.* (2000b).

Ensayo	Fuente de N y Localización ⁽¹⁾	Rendimiento de grano	Diferencia de rendimiento por incorporación ⁽²⁾	Estimación de pérdidas por volatilización ⁽³⁾
		kg ha ⁻¹		
Rafaela ⁽⁴⁾	Urea (S)	7840	637	310
	Urea (I)	8477		
	CAN (S)	8225	327	
	CAN (I)	8552		
Bragado ⁽⁵⁾	Urea (S)	8269	702	139
	Urea (I)	8971		
	CAN (S)	8415	563	
	CAN (I)	8978		
Alcorta ⁽⁵⁾	Urea (S)	7412	559	173
	Urea (I)	7971		
	CAN (S)	7912	386	
	CAN (I)	8298		

(1) (S) = aplicado superficialmente; (I) = incorporado por debajo de la cobertura de rastrojos

(2) La diferencia de rendimiento por incorporación estima las pérdidas por intercepción/inmovilización más las pérdidas por volatilización en el caso de urea y las de intercepción/inmovilización en el caso de CAN.

(3) Estimadas como diferencia entre formas de aplicación de urea menos diferencia entre formas de aplicación de CAN.

(4) Fontanetto (1999). Dosis de 80 kg N ha⁻¹.

(5) Ferrari *et al.* (2000b). Dosis de 60 kg N ha⁻¹.

Consideraciones finales

Los resultados de las investigaciones sobre dinámica de N y fertilización bajo SD indicarían que, para los primeros años de implantado el sistema, la dosis de fertilización nitrogenada debería ser mayor que bajo LC por la menor disponibilidad inicial o mineralización neta de N orgánico y la probabilidad de ocurrencia de mayores pérdidas por desnitrificación.

Las pérdidas por volatilización de amoníaco en aplicaciones superficiales de urea o fertilizantes que la contengan pueden ser de magnitud dependiendo las condiciones climáticas (temperatura y precipitaciones luego de la aplicación), el volumen de rastrojo y la forma de aplicación en el caso de fertilizantes líquidos.

La estratificación de nutrientes bajo SD genera un interrogante obvio acerca de la utilidad de los muestreos de suelo de la capa superficial según las calibraciones realizadas para cultivos bajo LC; sin embargo, las metodologías de diagnóstico previamente calibradas bajo LC han probado que, una vez ajustadas, son de utilidad bajo SD.

La incorporación del N aplicado por debajo de la capa de residuos presenta ventajas para todos los fertilizantes nitrogenados, ya que de esta forma se evitan las pérdidas debidas a volatilización, intercepción por el rastrojo e inmovilización por la microflora presente en los residuos.

Literatura citada

- ANDRADE, F.H.; ECHEVERRÍA, H.; GONZÁLEZ, N.; UHART S. y DARWICH, N. 1995. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 134. EEA INTA Balcarce.
- ASLAM, T.; CLHOUDHARY, M. A. y SAGGAR, S. 1999. Tillage impacts on soil microbial biomass C, N, and P, earthworms and agronomy after two years of cropping following permanent pasture in New Zealand. *Soil Tillage Res.* 51:103-111.
- BANDEL, V.; MULFORD, F. y BAUER, H. 1984. Influence of fertilizer source and placement in no-tillage corn. *Fert. Issues* 1:38-43.
- BAUDER, A. y BLACK, A. L. 1981. Soil carbon, nitrogen, y bulk density comparisons in two cropply tillage systems after 25 years and in virgin grassy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:1166-1170.
- BENINTENDE, M.; BORGETTO, O. y BENINTENDE, S. 1995. Mineralización de nitrógeno y contenido de biomasa microbiana en diferentes sistemas de laboreo. *Ciencia del suelo* 13:98-100.
- BERGH, R. 1993. Labranza conservacionista en el Centro-Sur bonaerense. *Revista ACAECER* 203:22-24.
- _____; GARCÍA, F.; RIZZALLI, R. y FERRARI, J. 1996. Dinámica del nitrógeno, crecimiento y rendimiento del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. *Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Santa Rosa, La Pampa.
- _____; 1997. Dinámica del nitrógeno, crecimiento y rendimiento del cultivo de trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Tesis de M Sc. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 1-75.
- BONDE, T. A.; SCHNÜRER, J. y ROSSWALL, T. 1988. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. *Soil Biology & Biochemistry.* 20:447-452.
- BREMNER, J. M. 1965. Nitrogen availability indexes. **In:** C. A. Black *et al.* (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monogr.* 9. ASA, Madison, WI. p. 1324-1345.
- BRENZONI, E. y RIVERO, E. 1999. Fijación biológica de N₂ en alfalfa, en diferentes suelos de la región Pampeana de Argentina. 14^o. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile. 8-12 Noviembre 1999.
- BUNDY, L. G. y MEISINGER, J. J.. 1994. Nitrogen availability indices. **In:** R. W. Weaver *et al.*, (eds). *Methods of Soil Analysis. Microbiological and biochemical properties. Part 2.* SSSA. Madison, WI. USA. p. 951-979.
- CALDERINI, D.; MADDONI, G.; MIRALLES, D.; RUIZ, R. y SATORRE, E.. 1995. Trigo: Modelos de alta producción. *Revista CREA.* No. 177. p. 44-47.
- CARLSON, G.; OJIEM, J.; LAMOND, R. y HAVLIN, J. 1992. Nitrogen management in no-till corn. **In:** J. Havlin (ed.). *Proceedings Great Plains Soil Fertility Conference.* Denver, Colorado.
- CARTER, M. R. 1986. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties. *Soil Tillage Res.* 7:29-40.
- _____; y RENNIE, D. A. 1984. Dynamics of soil microbial N under zero and shallow tillage for spring wheat, using 15N urea. *Plant and Soil.* 76:157-164.

- _____ ; y RENNIE, D. A. 1987. Effects of tillage on deposition and utilization of 15N residual. *Soil Tillage Res.* 9:33-43.
- CRESPO, L. 1999. Aspectos microbiológicos del suelo en relación con la disponibilidad del nitrógeno, bajo siembra directa y labranza convencional. Tesis de graduación. Universidad de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, 1975.
- DALAL, R. C.; HENDERSON, P. A. y GLASBY, J. M. 1991. Organic matter and microbial biomass in a Vertisol after 20 yr of zero-tillage. *Soil Biol. Biochem.* 23:435-441.
- DAHNIKE, W. C. y VASEY, E. H. 1973. Testing soils for nitrogen. In: L. M. Walsh y J. D. Beaton (ed.) *Soil testing and plant analysis*. SSSA, Madison, WI. p. 97-114.
- DI CIOCCO, C. y ALVAREZ, R. 2000. Nodulación y actividad nitrogenada en soja resistente a glifosato bajo distintos sistemas de labranza y dosis de nitrógeno. *Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. 11-14 Abril. Mar del Plata.
- DORAN, J. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:765-771.
- _____ ; 1987. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. *Biol. Fertil. Soils* 5:68-75.
- _____ ; 1990. Microbial activity and nitrogen transformations in sustainable systems. *Proceedings Conference "Extending sustainable systems"*. Minnesota Extension Service and Farm Business Management. St. Cloud, Minnesota.
- _____ ; ELLIOTT, E. T. y PAUSTIAN, K. 1998. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. *Soil & Tillage Res.* 49: 3-18.
- DUXBURY, J. M.; LAUREN, J. G. y FRUCI, J. R. 1991. Measurement of the biologically active soil nitrogen fraction by a 15N technique. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 34:121-129.
- ECHEVERRÍA, H.; BERGONZI, R. y FERRARI, J. 1992/93. Carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana de los suelos del sudeste bonaerense. *Ciencia del suelo*. 11/12:36-41.
- _____ ; y BERGONZI, R. 1995. Estimación de la mineralización del nitrógeno en suelos. *Boletín Técnico No. 135*. EEA INTA Balcarce.
- _____ ; NAVARRO, C. y ANDRADE, F. 1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 118:157-163.
- _____ ; SAINZ ROZAS, H.; DOMINGUEZ, G. y STUDDERT, G. 1999. Nitrato en el suelo al estadio de seis hojas del maíz como diagnóstico de la nutrición nitrogenada. 14^o. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile. 8-12 Noviembre 1999.
- EDWARDS, W.; SHIPITALO, M.; DICK, W. y OWENS, L. 1992. Rainfall intensity affects transport of water and chemicals through macropores in no-till soil. *Soil Sci. Am. J.* 56:52-58.
- FABRIZZI, K.; PICONE, L.; BERARDO, A. y GARCÍA, F. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en las propiedades químicas de un Argiudol Típico. *Ciencia del Suelo* 16 (2):71-76.
- _____ ; GARCÍA, F. O.; BERARDO, A.; PICONE, L. I. and COSTA, J. L. 2000a. Tillage effects on soil chemical and physical properties under minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Annual Meeting. Agronomy Abstracts. ASA-CSSA-SSSA*. 5-9 Nov. Minneapolis, Minnesota. EEUU.
- _____ ; GARCÍA, F. O.; BERARDO, A.; PICONE, L. I. and COSTA, J. L. 2000b. Soil Nitrogen and Water Dynamics under minimum and no-tillage systems in

- the southern Pampas of Argentina. Anual Meeting. Agronomy Abstracts. ASA-CSSA-SSSA. 5-9 Nov. Minneapolis, Minnesota. EEUU.
- FERRARI, M.; OSTOJIC, J.; VENTIMIGLIA, L.; CARTA, H.; FERRARIS, G.; RILLO, S.; GALETTO, M.; RIMATORI, F. y BERNASCONI, M. 2000a. Predicción de la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada mediante indicadores de suelo y planta en el estado de seis hojas. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires.
- _____ ; OSTOJIC, J.; VENTIMIGLIA, L.; CARTA, H.; FERRARIS, G.; RILLO, S.; GALETTO, M. y RIMATORI, F. 2000b. Fertilización de maíz: Buscando una mayor eficiencia en el manejo de nitrógeno y fósforo. Actas Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2000". Rosario, 28 de Abril de 2000. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires.
- FERRERAS, L. A.; COSTA, J. L. y GARCÍA, F. O. 1999. Temperatura y contenido hídrico del suelo en superficie durante el cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranzas. Ciencia del suelo 17 (2):39-45.
- _____ ; COSTA, J. L.; GARCÍA, F. O. y PECORARI, C. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampas" of Argentina. Soil Till. Res. 54:31-39.
- FONTANETTO, H. 1999. Maíz en la región central de Santa Fé. Seminario Diagnóstico de deficiencias de nitrógeno, fósforo y azufre en cultivos de la región pampeana. EEA INTA Balcarce-IPG.
- FOX, R. y BANDEL, V. 1986. Nitrogen utilization with no-tillage. In: M. Sprague and G. Triplett (ed.). No-tillage and surface-tillage agriculture. John Wiley & Sons. New York (E.U.A.).
- FRANZLUEBBERS, A. J.; HONS, F. M. y ZUBERER, D. A. 1994. Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:1639-1645.
- GARCÍA, F. O.; BERGH, R.; RIZZALLI, R.; FABRIZZI, K. P. y FERRARI, J. 2000. Dinámica de fracciones mineralizables del nitrógeno orgánico del suelo bajo siembra directa y labranza convencional. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 11-14 Abril. Mar del Plata.
- _____ ; y FABRIZZI, K. 1998. Fertilización de trigo y maíz bajo siembra directa en el sudeste de Buenos Aires. Boletín Técnico No. 150. EEA INTA Balcarce.
- _____ ; FABRIZZI, K. P.; BERARDO, A. y JUSTEL, F. 1998. Fertilización nitrogenada de trigo en el sudeste bonaerense: Respuesta, fuentes y momentos de aplicación. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACs. Carlos Paz, Córdoba.
- _____ ; FABRIZZI, K.; PICONE, L. y JUSTEL, F. 1999. Volatilización de amoníaco a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional. 14º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile. 8-12 Noviembre 1999.
- _____ ; FABRIZZI, K.; RUFO, M. y SCARABICCHI, P. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- _____ ; SARLANGUE, H.; JUSTEL, F.; PICONE, L. y GRATTO, F. 1996. Fertilización nitrogenada de trigo en siembra directa en el sudeste bonaerense. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Santa Rosa, La Pampa.
- _____ ; UHART, S.; FABRIZZI, K. y FERRARI, M. 1995. Ensayo de fertilización nitrogenada y riego en maíz. Informe Plan de trabajo 620:0158. EEA INTA Balcarce.

- GONZÁLEZ, N. 1994. Dinámica de la fijación de nitrógeno en soja, en suelos con alta fertilidad nitrogenada. Tesis M.Sc. Curso de Postgrado en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias-UNMdP. EEA INTA Balcarce.
- _____. 1996. Fijación de nitrógeno. *In*: Curso de Actualización "Dinámica de nutrientes en suelos agrícolas", EEA INTA Balcarce.
- GONZÁLEZ MONTANER J. y DI NAPOLI, M. 1997. Respuestas a nitrógeno del cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fé. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- _____; MADDONI, G. y DI NAPOLI, M. R. 1997. Modeling grain yield and grain yield response to nitrogen in spring wheat crops in the Argentinean Southern Pampa. *Field Crops Research* 51:241-252.
- _____; Meynard, J. M. y Mary, B. 1987. Controle de la nutrition azotee du blé par l'analyse des teneurs en nitrates dans la plante. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 73 (3):105-115.
- GRATTONE F.; VALENCIA, N., ECHEVERRÍA, H. y NAVARRO, C. 1991. Biomasa microbial del suelo y cinética de la nitrificación en función de cambios estacionales y de manejo. Actas XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Abril 1991. Bariloche, Río Negro.
- HARGROVE, W. 1988. Soil, environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. *In*: B. Bock y D. Kissel (ed.). Ammonia volatilization from urea fertilizers. Bull. Y-206. NFDC-TVA. Muscle Shoals, Alabama (E.U.A.).
- HERFURT, E.; ECHEVERRÍA, H.; UHART, S. y SAINZ ROZAS, H. 1997. Determinación de nitratos en la base del tallo como elemento diagnóstico de la nutrición nitrogenada en maíz. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. y RAYNER, J. H. 1980. Microbial biomass in soil-measurement and turnover. *In*: E. A. Paul y J. N. Ladd (Eds.). *Soil Biochemistry*. Dekker, New York. 415-471.
- KANWAR, R.; BAKER, J. y LAFLEN, J. 1985. Nitrate movement through the soil profile in relation to tillage system and fertilizer application method. *Trans. ASAE* 28:1731-1735.
- KELLER, G. y MENGEL, D. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1060-1063.
- LAMB, J. A.; PETERSON, G. A. y FENSTER, C. R. 1985. Wheat fallow tillage systems effects on newly cultivated grassy soils nitrogen budget. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 352-356.
- LETT, L.; PORTELA, G.; RESSIA, J.; MENDIVIL, G.; LAZARO, L.; BALBUENA, R. y PERTICARI, A. 1999. Nodulación y rendimiento de soja en relación a diferentes alternativas de manejo cultural. Actas II Reunión Científico-Técnica de Biología del Suelo del NOA y II Encuentro sobre Fijación Biológica del Nitrógeno. Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca, Argentina.
- MARELLI, H. y ARCE, J. 1996. La labranza conservacionista. Información para extensión No. 32. EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba.
- _____; DE MIR, B. y LATTANZI, A. 1981. La temperatura del suelo y su relación con los sistemas de labranza. Informe Especial 14. EERA Marcos Juárez.
- McCARTY, G. W.; LYSSSENKO, N. N. y STARR, J. L. 1998. Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1564-1571.
- _____; MEISINGER, J. J. 1997. Effects of N fertilizer treatments on biologically active N pools in soils under plow and no tillage. *Biol Fertil. Soils* 24:406-412.

- MEISINGER, J.J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. **In:** R. Hauck (ed.). Nitrogen in crop production. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin (E.U.A.).
- _____ ; y RANDALL, G. 1991. Estimating nitrogen budgets for soil-crop systems. **In:** R. Follet *et al.* (ed.). Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. (E.U.A.).
- MELCHIORI, R.; PAPAROTTI, O. y PAUL, W. 1996. Diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz: Nitratos en pre-escardillada. Serie Extensión No. 11. EEA INTA Paraná.
- PAUL, E. A. y VORONEY, R. P. 1980. Nutrient and energy flow through soil microbial biomass. **In:** D. C. Ellwood, J. N. Hedger, M. J. Latham, J. M. Lynch y J. M. Slater (Eds.). Contemporary Microbial Ecology. Academic Press, London. 215-237.
- PETERSON, G.; WESTFALL, D. y KOLBERG, L. 1995. Fertilidad en trigo y otros cultivos en áreas secas. III Jornadas Regionales "Fertilidad de suelos, fertilización y siembra directa". AAPRESID-DAASONS-CONSERVAR. Sierra de la Ventana, Buenos Aires.
- PICONE, L.I. 1978. Importancia de la contribución del amonio fijado en forma no intercambiable para la nutrición de las plantas y los microorganismos. Trabajo de Graduación. Facultad de Ciencias Agrarias-UNMDP. Balcarce.
- _____ ; Videla, C. y García, F. 1997. Desnitrificación durante el cultivo de trigo en un argiudol típico bajo siembra directa y labranza convencional. Ciencia del Suelo 15 (2):53-58.
- POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C. y CHRISTENSEN, B. T. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biol. Biochem. 19:159-164.
- QUIROGA, A.; y ORMEÑO, O. 1997. Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas: estructura y compactación. **In:** Seminario de siembra directa 8 y 9 de Octubre. p. 35.
- RICE, C. W.; SMITH, M. S. y BLEVINS, R. L. 1986. Soil nitrogen availability after long term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1206-1210.
- _____ ; MOORMAN, T. B. y BEARE, M. 1996. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. **In:** J. W. Doran y A. J. Jones (ed.) Methods for assessing soil quality. SSSA. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison WI. p. 203-215.
- RIZZALLI, R. H. 1998. Siembra directa y convencional de maíz ante distintas ofertas de nitrógeno. Tesis M. Sc. Curso de Posgrado en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP) – EEA INTA Balcarce.
- _____ ; BERGH, R.; GARCÍA, F. y FERRARI, J. 1995. Ensayos de labranzas y fertilización en trigo. Visión Rural. Año IV No. 14.
- _____ ; NAVARRO, C. A. y ECHEVERRÍA, H. 1984. Efecto del manejo y estación del año sobre la capacidad de mineralización y biomasa total en un argiudol típico del sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 2:61-678.
- RUIZ, R.A.; SATORRE, E.H.; MADDONNI, G.A.; CALDERINI, D.F.; MIRALLES, D.J.; CÁRCOVA, J. y DI NÁPOLI, M.R. 1997. Bases funcionales de la respuesta a la fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en el norte de la provincia de Bs.As. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. II: 121-128. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRÍA, H.; STUDDERT, G. y ANDRADE, F. 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. Ciencia del suelo 15:12-16.

- _____ ; y ECHEVERRÍA, H. 1999. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. Seminario Diagnóstico de deficiencias de nitrógeno, fósforo y azufre en cultivos de la región pampeana. EEA INTA Balcarce-IPG.
- _____ ; ECHEVERRÍA, H. y STUDDERT, G. 1999. Nitrógeno mineral en el suelo al estadio de seis hojas del maíz como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en siembra directa. 14º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile. 8-12 Noviembre 1999.
- _____ ; ECHEVERRÍA, H. y PICONE, L. 2000. Pérdidas de nitrógeno por desnitrificación en el cultivo de maíz irrigado bajo siembra directa en Balcarce. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 11-14 Abril. Mar del Plata.
- SCHEPERS, J. y MEISINGER, J. 1994. Field indicators of nitrogen mineralization. In: J. Havlin y J. Jacobsen (ed.). Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations. SSSA Special Publication No. 40. SSSA-ASA. Madison, Wisconsin. (E.U.A.).
- _____ ; y MOSIER, A. 1991, Accounting for nitrogen in nonequilibrium soil-crop systems. In: R. Follet *et al.* (Ed.). Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. (E.U.A.).
- SCHNÜRER, J.; CLARHOLM, M. y ROSSWALL, T. 1985. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. Soil Biology & Biochemistry. 17:611-618.
- SMITH, J. L., y PAUL, E. A. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. Soil Biol. Biochem. 6:357-396.
- SOLÁ, R. y COLABORADORES. 1994. Sistemas de labranza en trigo. Efecto de la fertilización fosfatada y nitrogenada sobre el rendimiento. Encuentro de profesionales hacia una agricultura sostenible. PAC. Rosario, Santa Fé.
- STANFORD, G. y SMITH, S. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36:465-472.
- TILLMAN, R. y SCOTTER, D. 1991. Movement of solutes associated with intermittent soil water flow: II. Nitrogen and cations. Aust. J. Soil Res. 29:185-196.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.; BEATON, J. y HAVLIN, J. 1993. Soil fertility and fertilizers. Fifth Edition. MacMillan Pub. Co. New York (E.U.A.).
- VIDELA, C. 1995. La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. Boletín Técnico 131. EEA INTA Balcarce.
- VIGLIEZZI, A.; ECHEVERRÍA, H. y STUDDERT, G. 1996. Nitratos en seudotallos de trigo como indicador de la disponibilidad de nitrógeno. Ciencia del Suelo 14 (2):57-62.
- VINTEN, A. y SMITH, K. 1993. Nitrogen cycling in agricultural soils. In: T.P. Burt *et al.* (ed.) Nitrate: Processes, patterns and management. John Wiley & Sons.
- WEED, D. y KANWAR, R. 1996. Nitrate and water present in and flowing from root-zone soil. J. Environ. Qual. 25:709-719.
- WOOD, C. W.; WESTFALL, D. G. y PETERSON, G. A. 1991. Soil Carbon and nitrogen changes on initiation of no-till cropping systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:470-476.

Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo – pastura bajo laboreo convencional y siembra directa

por Jorge Sawchik *

Introducción

La introducción de la siembra directa en los sistemas de producción es el hecho más relevante de la última década con relación al manejo de los suelos. Esta introduce al sistema actual una serie de ventajas: reducción de las pérdidas de suelo por erosión, mayor flexibilidad y aprovechamiento de las oportunidades de siembra, una mayor intensidad de uso del suelo, aprovechamiento de zonas marginales, entre otras.

En los países del Cono Sur existe una creciente adopción de la siembra directa en los diferentes sistemas de producción. Su utilización se ha extendido en forma mayoritaria en los sistemas de rotación de cultivos continuos para grano.

Los esquemas de producción mixtos de la región son más escasos y tienen como pilar una rotación de cultivos anuales forrajeros o para grano y pasturas de especies variadas, de duración anual o pluriannual, con un fuerte componente de leguminosas. En este caso la adopción de la siembra directa es más lenta.

El nitrógeno (N) es el nutriente más importante para la concreción de altos rendimientos en los cultivos. En los sistemas mixtos en particular, la entrada de N vía fijación simbiótica por las leguminosas es relevante, representando una fuente de suministro de N de magnitud para los cultivos posteriores.

La información sobre la dinámica de N bajo estos sistemas ha sido generada mayoritariamente bajo condiciones de laboreo convencional.

El objetivo del presente artículo es revisar la información existente en algunos aspectos de la dinámica de N bajo estos sistemas y los cambios esperados con la inserción de la siembra directa.

Entradas de nitrógeno vía fijación simbiótica

En los sistemas mixtos que rotan cultivos con pasturas que incluyen leguminosas existen tres vías importantes de entrada de N: los residuos de los cultivos, los fertilizantes nitrogenados y la fijación de N atmosférico por la asociación Rhizobium – leguminosa.

* Ing. Agr., MSc., Manejo y Fertilidad de Suelos, INIA La Estanzuela, Uruguay. E-mail: sawchik@inia.org.uy

La cantidad de N fijado por una leguminosa en un determinado período va a depender de su productividad, del contenido de N del forraje y de la proporción del N que se derivó de la atmósfera por acción de la simbiosis, ya que la leguminosa también puede tomar N del suelo.

Existe una importante variación estacional en la fijación biológica del nitrógeno (FBN), presentando valores máximos en invierno y mínimos durante el verano.

En mezclas forrajeras de clima templado, la disponibilidad de N del suelo es el factor que más afecta la simbiosis Rhizobium – leguminosa (García et al., 1994). Durante el invierno, cuando la tasa de mineralización de N del suelo está limitada por las bajas temperaturas y por lo tanto la cantidad de N mineral presente en el suelo es baja, el porcentaje de N derivado de la fijación es alto llegando a valores cercanos al 100 por ciento.

Mallarino y Wedin (1990) y otros autores determinaron que la mayor concentración de N mineral (amonio y nitrato) durante los meses de verano resultaba en porcentajes menores de N derivado de la simbiosis Rhizobium - leguminosa.

García et al. (1994) midieron por técnicas isotópicas para las condiciones de Uruguay, las cantidades de N fijado por las cuatro especies de leguminosas más utilizadas: Trébol blanco, Lotus, Trébol rojo y Alfalfa (Cuadro 1). Los autores concluyeron que a excepción del verano las leguminosas obtienen un 90 % del N de la atmósfera, valor similar al promedio para dos años reportado por Danso et al. (1991) de 88 y 91 % de N proveniente de la fijación para Trébol blanco y *Lotus corniculatus* respectivamente. Los autores definen el término eficiencia de la fijación como la relación kg de N fijado/t MS de leguminosa.

Cuadro 1. Estimaciones de nitrógeno fijado (°) para los rendimientos promedio de forraje de 2° año (°) de diferentes leguminosas en Uruguay.

Espece	Forraje MS t/ha	N fijado kg/ha	Kg N/t MS leg.
Trébol blanco	7.5	229	31
Lotus	8.3	226	27
Trébol rojo	8.8	308	35
Alfalfa	11.6	366	32

(°) Estimaciones de los parámetros simbióticos para *T. blanco* y *Lotus*, promedio de 5 experimentos en el período 1984-1990; para *T. rojo* y *Alfalfa*, datos de 1 experimento.

(°) Promedio para el período 1976 – 1992.
Adaptado de García et al.(1994).

A pesar de las diferencias de productividad entre especies, puede considerarse que en promedio, por cada tonelada de MS de leguminosa producida, se fijan alrededor de 30 kg de nitrógeno.

En estimaciones indirectas realizadas a partir de un experimento de largo plazo que incluye rotaciones de cultivos y pasturas, Díaz-Rosselló (1992a) estimó una entrada al suelo de 40 kg de N por tonelada de MS de leguminosa producida. Resulta claro entonces que la entrada de N a los sistemas por esta vía es muy importante.

Aquellas prácticas de manejo que maximicen la producción y persistencia de las leguminosas como la fertilización fosfatada, el manejo adecuado de la especie, y la

correcta elección de las variedades entre otras, tendrán un impacto positivo sobre la entrada de N en los sistemas mixtos.

Efecto de la inclusión de pasturas en el C orgánico y N total

La materia orgánica del suelo es un componente esencial clave dentro de los sistemas productivos por su influencia en propiedades químicas, físicas y biológicas que afectan la productividad de los cultivos. Las diferentes prácticas de manejo del suelo y de los cultivos pueden alterar esta propiedad.

Teniendo en cuenta la importancia de las entradas de N a los sistemas mixtos por la vía reseñada resulta relevante conocer el impacto de las pasturas sobre indicadores de productividad y calidad de suelos como la materia orgánica.

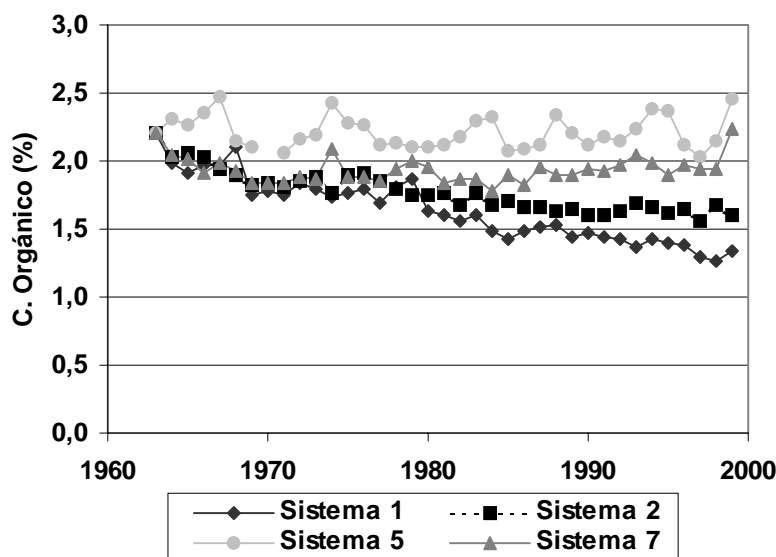
Carbono orgánico

En un experimento de largo plazo iniciado en 1963 en la Estación Experimental La Estanzuela en Uruguay, donde se contrastan diferentes intensidades de uso del suelo, la inclusión o no de pasturas y la duración de las mismas bajo laboreo convencional, se evaluó el contenido de C orgánico como un indicador tradicional de uso y manejo del suelo.

Cabe acotar que este sitio estuvo durante muchos años bajo cultivo continuo sin utilización de medidas de conservación de suelos, previo a la instalación del experimento.

A su vez, las parcelas son de gran escala (200m x 25m) y se ubican a lo largo de toda la pendiente. De este modo las pérdidas de suelo por erosión hídrica se expresan igual que en los predios de producción.

En la Figura 1 se presenta la evolución del C orgánico para algunos tratamientos seleccionados del experimento. Los sistemas 1 y 2 representan situaciones de agricultura continua sin y con agregado de fertilizante nitrogenado y fosfatado respectivamente,



desde 1963. El sistema 5 es una rotación de tres años de cultivos y tres de pasturas con agregado de fertilizante. En este caso la pastura es una mezcla de Festuca, Trébol blanco y Lotus. Por su parte, el sistema 7 es agricultura continua en rotación con una leguminosa bianual, Trébol rojo. Cabe acotar que los sistemas 5 y 7 no tienen pastoreo animal y el manejo del forraje se realiza mediante corte y devolución.

Figura 1. Evolución del C orgánico bajo diferentes rotaciones en INIA La Estanzuela (Sistema 1 = agricultura continua s/fert.; Sistema 2 = agricultura continua c/fert.; Sistema 5 = rotación cultivo-pastura; Sistema 7 = agricultura continua intercalada con Trébol rojo).

Los sistemas de cultivo continuo (1 y 2) muestran una caída sostenida del contenido de C orgánico con respecto al valor original consistente con la reportada por otros autores. En estos sistemas, para el período analizado (1963-99), el contenido de C orgánico se redujo en promedio un 33 % con respecto al valor original, un 5 % mayor al reportado por Díaz-Roselló (1992b) para el período 1963-92.

El bajo retorno de residuos asociado a la baja productividad de los cultivos, la alta intensidad del laboreo, sumado al efecto de la erosión parecen ser factores claves en los resultados obtenidos.

En los sistemas que rotan con pasturas los valores se mantienen cerca de los niveles medidos al inicio del experimento. Sin embargo, se producen ciclos de ganancia y pérdidas de C que coinciden con las etapas de pasturas y cultivos respectivamente. El autor sugiere la presencia de un pool más lábil de C por la incorporación de las pasturas, que se pierde a una tasa mayor en la etapa de cultivos que en los sistemas bajo cultivo continuo.

Para condiciones climáticas más frías como las de Balcarce, en un experimento iniciado en 1976, se verificó un continuo descenso en el C orgánico bajo cultivo continuo. En los tratamientos donde se incluían pasturas, la producción de biomasa y raíces durante esta etapa aumentaba rápidamente el contenido de materia orgánica. Los incrementos en el C orgánico del suelo fueron mayores después de pasturas de larga duración (Studdert et al., 1997).

Nitrógeno total

El mismo comportamiento se observa en el experimento iniciado en 1963 en Uruguay con respecto al contenido de N total del suelo para el mismo periodo. Los sistemas de cultivo continuo perdieron en 36 años (1963-99) un 22 y 31 % del contenido original de N total de la capa arable en los tratamientos con y sin agregado de fertilizantes respectivamente.

En los sistemas que rotan con pasturas el comportamiento de esta variable es cíclico, pues en la fase de pasturas se produce un incremento del contenido de N total. Las entradas y la magnitud de este incremento dependen de la cantidad de N fijado en esta etapa o sea está estrechamente relacionado con la productividad y persistencia de las leguminosas componentes de la mezcla.

Una vez iniciada la fase de cultivos, si ésta se realiza con laboreo convencional, se producen pérdidas de N por efecto de la oxidación de la materia orgánica, además de procesos erosivos.

Díaz-Roselló (1992a) determinó para los sistemas que rotan cultivos y pasturas una entrada promedio de 500 kg de N/ha (en los 20 cm de la capa arable) durante la fase de pasturas. En la etapa de cultivos por su parte, salen del sistema en promedio unos 650 kg/ha de N. Hossain et al. (1996) para condiciones de Australia reportan un incremento de 780 kg de N/ha luego de una fase de cuatro años de una pastura mezcla de gramíneas y leguminosas.

En la Figura 2 se presenta la evolución en el contenido de N total promedio para los últimos tres ciclos completos de la rotación (tres años de cultivo y tres de pasturas en cada ciclo).

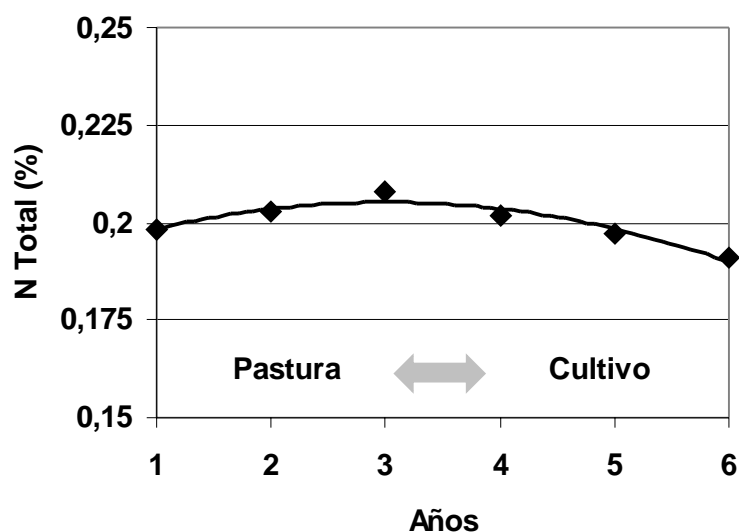


Figura 2. Evolución del contenido de N total promedio para los 3 últimos ciclos de rotación de cultivos y pasturas en Experimento de Rotaciones en INIA La Estanzuela.

En este experimento, las pérdidas por erosión están maximizadas, debido a las prácticas de manejo del suelo empleadas. Por lo tanto, la erosión selectiva presumiblemente es una vía de pérdida significativa de N.

Si se emplearan prácticas de manejo intermedias hacia la siembra directa como el acortamiento de los períodos de barbecho, la sustitución de laboreos secundarios por el uso de herbicidas, se disminuirían las pérdidas de N en la fase de cultivos. Esto permitiría alargar la fase de cultivos una vez roturada la pastura.

Studdert et al., (1997), para suelos de Balcarce con pendientes muy leves (0,5 %) determinaron que la combinación de un ciclo de tres años de pastura y siete de cultivos lograba mantener al sistema en equilibrio.

Cabe acotar que en este caso las tasas de mineralización de la materia orgánica se ven retardadas por condiciones más frías que las de Uruguay.

Residualidad del nitrógeno dejado por las pasturas

La residualidad del N dejado por las pasturas en estos sistemas, una vez iniciada la etapa de cultivos, con laboreo convencional, determina necesidades crecientes de fertilizante nitrogenado a medida que nos alejamos del tiempo de roturación de la pastura.

Esto se refleja en la cantidad de fertilizante nitrogenado que debe utilizarse en la fase de cultivos. Así, García Lamothe (1994), trabajando en ensayos de respuesta al agregado de N en el cultivo de trigo bajo laboreo convencional determinó dosis óptimas sustancialmente menores en trigos sembrados enseguida de la roturación de la pastura (Cuadro 2).

Cuadro 2. Dosis de N para el óptimo económico (DOE), e incrementos de rendimiento en trigo según el uso anterior de la chacra.

Historia de chacra	Testigo sin N	DOE kg/ha	% de incremento	CV (%) DOE	N
Pastura recién roturada	3.950	26	4.4	63	14
2º y 3er post – pastura	3.000	152	55	28	10
Pastura de gramíneas	2.380	176	95	16	4

Adaptado de García Lamothe (1994).

Se observa que en situaciones de praderas de larga duración recién roturadas, el ahorro en fertilizante nitrogenado así como los mayores potenciales de rendimiento del cultivo de trigo sin fertilizar puede ser importante. En este caso sin embargo, se observa un mayor coeficiente de variación en las DOE probablemente atribuible al tipo y calidad de la pastura incorporada al suelo.

Cabe acotar que en esta serie de experimentos, las situaciones de 2º y 3er cultivo post-pastura generalmente tuvieron tiempos bajo barbecho largos especialmente en parte del verano y otoño. Este período coincide con las mayores tasas de mineralización de N del suelo, por lo que el N mineral producido en esta etapa no fue aprovechado por ningún cultivo y pudo estar sometido a procesos de pérdida. Esto explicaría el rápido incremento de la DOE ya en el segundo año de roturada la pastura.

Cuando la pastura fue exclusivamente a base de gramíneas, si bien las condiciones físicas del suelo fueron muy buenas para el desarrollo de los cultivos, pudo ocurrir un efecto de inmovilización de N importante, producto de la calidad de los residuos incorporados, lo que explica los bajos rendimientos de los tratamientos testigo sin agregado de N.

Basada en estos experimentos esta autora estimó que la capacidad de suministro de N para el cultivo de trigo en los sistemas mixtos de producción en el Uruguay puede variar entre 25-40 kg de N/ha para chacras viejas (con 3 cultivos al menos), y 190 kg de N/ha cuando el cultivo anterior es una leguminosa forrajera de buena productividad y persistencia. Los rendimientos de los tratamientos testigo en esta serie de experimentos oscilaron entre 1,8 y 4,9 t / ha, lo que demuestra la variación que genera el manejo anterior del suelo en la capacidad de suministro de N (García Lamothe, 1998).

Por su parte, Baethgen (1992) estimó que el equivalente fertilizante de 10 suelos del Uruguay variaba entre 40 y 120 kg de N/ha para un ciclo de cultivo de cebada. Este cultivo se siembra en Uruguay generalmente en suelos con menores capacidades de suministro de N, para evitar los excesos de este nutriente en la pérdida de calidad del grano.

Como se mencionó previamente, la duración de la pastura tiene un efecto directo sobre la residualidad del N para los cultivos siguientes. Martino et al. (1986b), con cultivos de trigo posteriores estimaron un suministro de N más largo y estable en el tiempo, con pasturas de cuatro años de duración. Sin embargo, los autores remarcan la baja eficiencia de uso del N dejado por las pasturas, coincidente con lo que sugiere Díaz (1992a). Esto pudo estar asociado a períodos de barbecho largos dados por la sucesión trigo – trigo.

Los resultados confirman los obtenidos en Australia por Holford (1980) en donde la residualidad de N para los cultivos era más duradera en pasturas de alfalfa de tres años y medio que en aquéllas de un año y medio de edad. En promedio entre 40 y 50 kg de N/ha/año de la alfalfa fueron contribuidos a cultivos de trigo posteriores.

Abundante literatura internacional refuerza el efecto que tienen pasturas de buena calidad, en términos de presencia de leguminosas, sobre el ahorro de fertilizante nitrogenado para el cultivo siguiente. Se presume que en cultivos de verano las economías pueden ser más importantes debido a las mejores condiciones de mineralización del N orgánico. En la zona del cinturón maicero americano, Morris et al. (1993) encontraron que para maíces de alto potencial de rendimiento, la dosis óptima promedio luego de alfalfa era de solamente 10 kg/ha de N.

Destino del nitrógeno del residuo de leguminosas

Resulta clara a la luz de los resultados presentados, la contribución positiva de las leguminosas en términos de ahorro de fertilizante nitrogenado para los cultivos. Por diversas metodologías, se ha tratado de estudiar el destino del N del residuo de leguminosas en el sistema suelo – planta.

Evaluaciones con residuos marcados con N¹⁵

Uno de los enfoques para estudiar la residualidad del N proveniente de las leguminosas ha sido el uso de residuos marcados o enriquecidos con N¹⁵.

Crozier et al (1998) determinaron el destino de fertilizantes nitrogenados y residuos de leguminosas marcados en sistemas de producción de maíz. En este estudio un 8 y 3 % del N de la leguminosa fueron recuperados por el 1er y 2o cultivo de maíz respectivamente.

Harris y Hesterman (1990) reportan valores promedio de recuperación de N marcado de residuos de alfalfa por un cultivo de maíz de 21 %. Los autores señalan que la recuperación fue más alta en un suelo con bajos tenores de N total y menores contenidos de C y N en la biomasa microbiana. Esto parece ser debido a una menor dilución del N¹⁵ en el pool de N del suelo en la situación más degradada.

La inmovilización del N marcado del residuo fresco por la biomasa microbiana y su sustitución por N del pool nativo probablemente expliquen la baja recuperación de N¹⁵ por la planta como sucede en otros estudios similares (Ladd y Amato, 1986). Crozier et al., (1994) sugieren que el mayor impacto en la incorporación de residuos de leguminosas es sobre la acumulación de N orgánico y de N potencialmente mineralizable.

En general la recuperación de N proveniente del fertilizante es mayor que la proveniente de los residuos de leguminosa. Harris et al., (1994), basados en un sumario de experimentos utilizando residuos de leguminosas marcados concluyen que: a) menos de 30 % del N de los residuos de leguminosas fue recuperado por el cultivo siguiente, b) grandes cantidades del N proveniente de las leguminosas fueron retenidas en el suelo como N orgánico, c) la recuperación total del N de las leguminosas osciló entre un 70-90 % en el cultivo y el suelo luego de 1 año, d) menos de 5 % del N de la leguminosa fue recuperado por un 2º cultivo.

Estos mismos autores determinaron la recuperación de N por un cultivo de cebada con trébol rojo o fertilizante nitrogenado marcado. En el primer cultivo se recuperó un 40 % del N proveniente del fertilizante y sólo un 17 % del N de la leguminosa. En el suelo en cambio, se recuperó un 47 % del N de la leguminosa y solo un 17 % del fertilizante. En definitiva grandes cantidades de N de las leguminosas son retenidas en el suelo en forma orgánica.

Este autor detectó además que un porcentaje mayor de N estaba en el pool de biomasa microbiana cuando se agregaban residuos de leguminosas. La menor tasa de recuperación por el cultivo del N de residuos de leguminosas parece lógica en la medida que éstos son un sustrato de C fresco para los microorganismos del suelo.

Esta metodología da una medida directa del N contribuido por la leguminosa con las limitantes ya señaladas.

Evaluaciones indirectas

Otra línea más clásica de trabajos estima el potencial de aporte de N en base al equivalente fertilizante (cantidad de N como fertilizante requerido para llegar a un rendimiento equivalente al obtenido después de la leguminosa).

Bruulsema y Christie (1987) utilizando alfalfa y trébol rojo como cultivo previo al maíz encontraron que estas leguminosas aportaron en promedio de 90 - 125 kg de N/ha para el cultivo de maíz. En este caso la recuperación aparente de N fue 70 por ciento del N presente en los residuos de los cultivos anteriores, una cifra bastante mayor que la obtenida con la metodología anteriormente descrita. Aquí sin embargo están confundidos los efectos atribuibles directamente al N y otros indirectos (rotación de cultivos, enfermedades, etc.) que se engloban dentro del concepto "efecto rotación".

En general resulta difícil extrapolar los valores de recuperación de N de residuos marcados de leguminosas a lo que sucede comúnmente en pasturas de larga duración.

Esto es así debido a que en la última situación, entre otros factores, existen varias generaciones de residuos de leguminosas de diferente edad y por lo tanto en diferente estado de descomposición.

McCown et al., (1987) establecieron en base a datos de mineralización de residuos de leguminosas que la mayor contribución de N mineral para los cultivos después de pasturas de larga duración provenía del último año de la pastura. La contribución de N mineral proveniente de los residuos anteriores caía en forma exponencial.

En la región donde se utilizan leguminosas de zona templada, la persistencia del componente leguminosa es un factor crítico. La degradación de las pasturas por la aparición del pasto bermuda, gramón o gramilla *Cynodon dactylon* L. determina una pobre presencia del componente leguminosa en los últimos años de la misma. Esto lleva a que el residuo de la pastura aumente su relación C/N por lo que es muy probable que exista inmovilización neta de N al comienzo de la fase de cultivos, y disminución de la capacidad de aporte de N por las pasturas especialmente para el primer cultivo.

Indicadores de la capacidad de aporte de nitrógeno: efecto de las pasturas

Como ya fue descrito, la rotación de cultivos y pasturas genera cambios y una variación importante en la capacidad de suministro de N para los cultivos. Esta variación es generalmente mayor a la observable bajo condiciones de cultivo continuo. Si bien esto provoca cambios en los contenidos de C y N, éstos ocurren en períodos de tiempo relativamente largos.

Estos indicadores resultan entonces poco sensibles a prácticas puntuales como el efecto de un laboreo o la adición de residuos orgánicos frescos y son de escasa utilidad para predecir la capacidad de suministro de N para un cultivo.

Es necesario contar con herramientas que reflejen en mayor medida los efectos de diferentes prácticas de manejo sobre la capacidad de aporte de N del suelo.

Biomasa microbiana

En este sentido, la biomasa microbiana del suelo ha sido reportada por varios autores como un indicador temprano de las variaciones dentro de la fracción orgánica provocadas por el manejo de suelos (Studdert et al., 1997).

La biomasa microbiana del suelo constituye la parte viva de la materia orgánica. Es una fracción relativamente lábil que puede ser afectada por factores ambientales y de manejo de suelos.

Cuando el N mineral proveniente de la mineralización, amonio o nitrato, es liberado, éste puede ser asimilado por la biomasa microbiana y transformado en compuestos de N orgánico constituyentes de las células de los microorganismos, con una oxidación paralela de sustratos carbonados (Jarvis et al., 1996). Este proceso se conoce con el nombre de inmovilización. Preferentemente la asimilación por los microorganismos se produce desde el pool de amonio. El N inmovilizado puede luego volver a ser mineralizado.

Este continuo pasaje de formas de N orgánico y mineral a través de la biomasa microbiana se conoce con el nombre de MIT (mineralización-inmovilización turnover) y juega un rol fundamental en el reciclaje de nutrientes.

García y Morón (1992) determinaron para el experimento de rotaciones instalado en Uruguay en 1963, el N presente en la biomasa microbiana para diferentes tratamientos. El N en la biomasa representó el 1.35% y 2.1% del N total en los sistemas de agricultura continua y rotación con pasturas respectivamente. El nivel promedio de N en la biomasa microbiana fue de 45 y 88 kg de N/ha para los sistemas comparados.

Basados en esto, los autores calcularon un flujo anual de N de 18 y 35 kg de N/ha/año para los dos sistemas respectivamente, que puede estar disponible para el cultivo o ser retenido o asimilado por la población microbiana y entrar en competencia con la demanda por el cultivo.

Studdert et al. (1997) reportan que el N en la biomasa microbiana (la parte más activa del N orgánico) aumentó un 100 por ciento en un período de tres años de pastura, cayendo luego durante la fase de cultivos.

Indicadores de disponibilidad de nitrógeno a campo: nitratos

La concentración de nitrato en el suelo en determinado momento y para diferentes cultivos es el indicador más empleado para estimar la probabilidad de respuesta al agregado de N. Su mayor utilidad es que refleja el balance de los procesos de mineralización - inmovilización que están ocurriendo en el campo.

La determinación de rangos críticos para separar probabilidades de respuesta o no al agregado de N ha sido definido para el cultivo de trigo bajo laboreo convencional (García Lamothe, 1994) y directa (Bordoli et al., 1999), cebada (Perdomo et al., 1999) y maíz (Perdomo, datos sin publicar). En especial, el manejo de la fertilización de N bajo siembra directa en Uruguay es tratado exhaustivamente por M. Bordoli en este mismo volumen.

Una limitante de este indicador es su variabilidad en el corto plazo debido a condiciones ambientales, y el agregado reciente de residuos, entre otros factores.

Generalmente cuando se laborean pasturas de buena calidad, se produce una importante liberación de N mineral que no siempre sincroniza con las necesidades del cultivo. Si en esta etapa no hay un cultivo creciendo, ese pool de nitrógeno mineral no es utilizado y queda expuesto a pérdidas aún no debidamente cuantificadas en esta región, por lavado o transformación a formas gaseosas o simplemente sufre procesos de inmovilización.

Indicadores de disponibilidad de nitrógeno de laboratorio

Existen otros indicadores de la disponibilidad de nitrógeno que pueden complementar y ayudar a interpretar el significado de un determinado valor de nitrato en el suelo. Carriquiry et al., (1999) evaluaron tres indicadores biológicos de disponibilidad de nitrógeno: a) incubación aeróbica a 15° C de 28 días, b) incubación aeróbica a 30° C de 28 días y c) incubación anaeróbica a 40° C durante siete días o potencial de mineralización de N (PMN) y un método químico, la extracción con KCl 2 M en caliente, para caracterizar la capacidad de aporte de Argiudoles en Uruguay sometidos a manejos contrastantes.

El método de incubación anaeróbica fue el que presentó la mejor asociación con el manejo anterior del suelo. Este fue cuantificado mediante un índice de pasturas que consideraba el porcentaje de tiempo con pasturas en los tres últimos años (Figura 3).

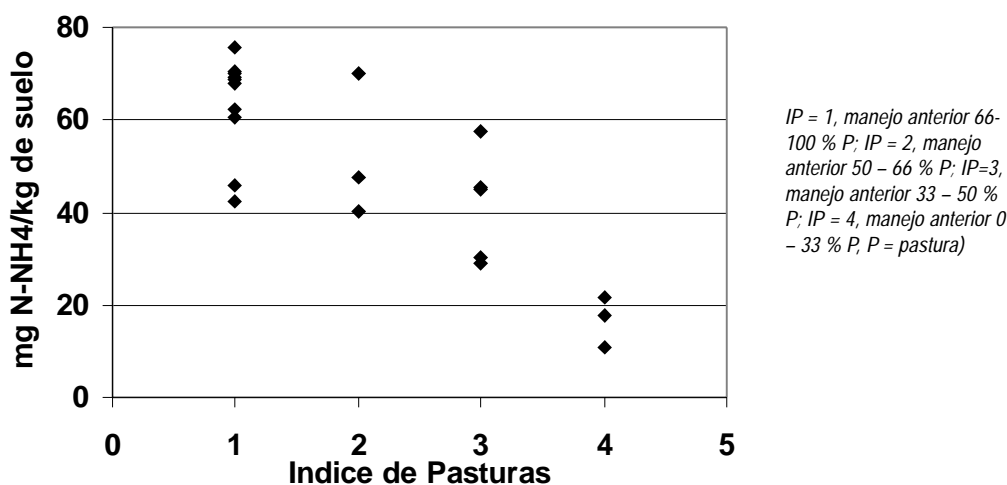


Figura 3. Relación entre el Índice de pasturas (IP) y el N mineralizado en forma anaeróbica. Carriquiry et al. (1999).

Los resultados muestran que a medida que este índice de pasturas aumenta (menor porcentaje del tiempo total de rotación bajo pasturas) disminuye el PMN. La variabilidad detectada entre situaciones clasificadas a priori como de igual PMN (mismo IP), son prueba que no basta con considerar únicamente el manejo anterior. La cantidad de factores involucrados en la cantidad de N incorporado por las pasturas (productividad, porcentaje de leguminosas entre otros) determina la imposibilidad de considerarlos a todos en un índice de caracterización (IP).

Estos mismos autores encontraron que el porcentaje de N mineralizado, un indicador de la calidad del mismo, también disminuía con la reducción del tiempo bajo pasturas. Esto demuestra la presencia de un pool más lábil de N cuando se incluyen pasturas en los sistemas.

Para condiciones semiáridas de Australia, Hossain et al.(1996) encontraron que la incubación anaeróbica detectó diferencias significativas entre manejos de suelo. Así, la rotación de cuatro años de alfalfa y cuatro años de trigo tuvo un potencial de

mineralización de N ocho veces superior al de trigo continuo siendo un indicador mucho más sensible que el contenido de N total del suelo. Los autores encontraron además una alta asociación del PMN con el nivel de nitratos en el suelo.

En la Figura 4 se presentan los valores de PMN para diferentes etapas de la rotación en el experimento de INIA La Estanzuela ya descrito.

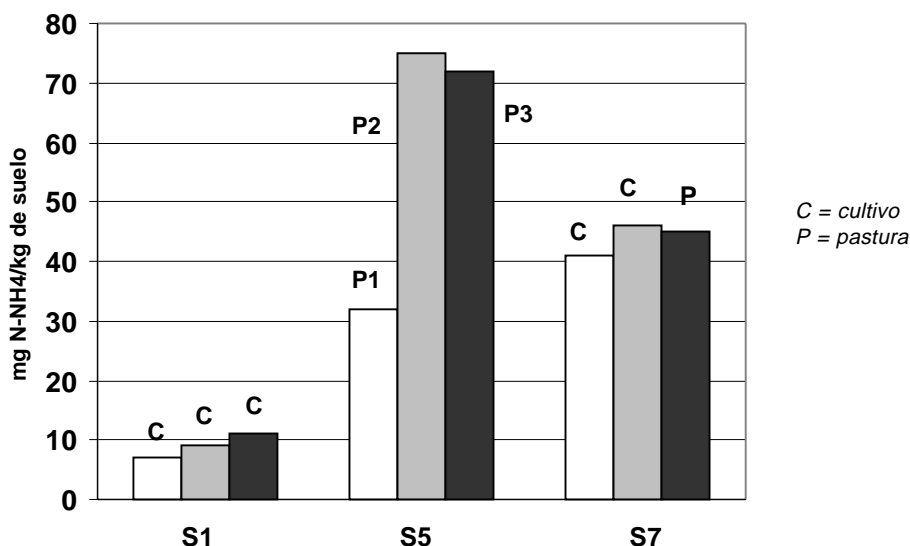


Figura 4. N mineralizado por incubación anaeróbica según etapas de la rotación de los Sistemas 1, 5 y 7 (ya descritos) en INIA La Estanzuela.

Nuevamente se resalta el efecto de las pasturas en el incremento del PMN, lo que queda claro en el sistema 5, con una pronunciada reducción cuando finaliza la etapa de cultivos previo a la instalación de la pastura (P1). El sistema 7 presenta valores intermedios en el PMN y además una menor variación entre etapas de la rotación. La pastura sembrada en este sistema es de corta duración y menor productividad (por lo tanto menor capacidad de aporte de N) y la fase de cultivos presenta menor tiempo de barbecho que en el sistema 5.

Introducción de la siembra directa: sistemas de cultivo continuo

En el sistema de siembra directa existe una importante retención de residuos en superficie debido a la no-remoción del suelo. Las tasas de descomposición de los residuos en superficie son en general más lentas que con residuos enterrados. Este proceso está además influenciado por otros factores: la relación C/N del residuo, su contenido de lignina, condiciones ambientales (temperatura y humedad), contenido inicial de nitrógeno del suelo y población microbiana (Schomberg et al., 1994). Este tema es profundizado por A. Morón en este mismo volumen.

En consecuencia la siembra directa, generalmente, resulta en un incremento en el contenido de materia orgánica en la zona superficial. Sin embargo, la magnitud de este cambio es dependiente del manejo anterior del suelo, secuencia de cultivos utilizada y de la cantidad y tipo de fertilizante aplicado que interaccionan fuertemente.

Suelos con manejo previo bajo agricultura continua

La gran mayoría de los experimentos de largo plazo bajo siembra directa existentes en el mundo evalúan rotaciones de cultivo continuo para grano. En general el punto de partida de estos experimentos son situaciones manejadas previamente bajo cultivos y con laboreo convencional.

En situaciones de este tipo, Martens (2000) reporta para una serie de experimentos llevados a cabo en Estados Unidos, un incremento en el contenido de materia orgánica en los tratamientos de siembra directa, siempre que la productividad de los cultivos sea comparable a la del laboreo convencional.

Como fue reseñado previamente, la secuencia de cultivos elegida puede afectar la acumulación de C orgánico en el suelo. Lal et al., (1994) en un experimento de 28 años de duración bajo siembra directa, encontraron un mayor contenido de C orgánico en la rotación de maíz continuo, comparado con la rotación maíz-soja y maíz-avena-raigrás. Los autores atribuyen el mayor contenido de C en la rotación bajo maíz continuo al mayor retorno de residuos.

Schomberg et al. (1994) reportan un incremento en el contenido de C orgánico bajo siembra directa de 0, 5 y 14 % con respecto al laboreo convencional para rotaciones soja-soja, sorgo-soja y sorgo-sorgo respectivamente.

Esto enfatiza la necesidad de incluir cultivos de alta relación C/N en las rotaciones como forma de promover el incremento en los contenidos de C orgánico.

Martens (2000) sugiere que los mecanismos por los cuales en siembra directa se reducen las pérdidas de C son: a) reducción de las pérdidas por erosión, b) menor tasa de descomposición de residuos, c) incremento en la biomasa microbiana, lo que hace que parte del C de los residuos sea reciclado en la biomasa microbiana en lugar de perderse como CO₂ y d) incremento en la población de hongos (de mayor relación C/N) respecto a la bacteriana con el consecuente aumento en la retención de C, por lo que menos CO₂ se pierde a la atmósfera.

Uno de los problemas asociados a la rotación de cultivos continuos bajo siembra directa puede ser la disponibilidad de N para los cultivos. Si la productividad de los cultivos es alta, mayor es la cantidad de N retirada con el grano, pudiendo generar balances negativos de N por lo que estos sistemas pueden volverse mucho más dependientes del agregado de fertilizante nitrogenado.

En ese sentido, Morón y Sawchik (2000) en Uruguay, trabajando sobre sistemas ya establecidos bajo siembra directa y en cultivo continuo, encontraron valores bajos de PMN y que además estaban en forma importante de los sitios indisturbados utilizados como referencia.

Suelos con manejo previo bajo pasturas

La situación cambia cuando se parte de una pastura. Blevins (1977) partiendo de pasturas nativas, con 1,9 % de C orgánico en el suelo encontró que luego de una rotación de maíz continuo el valor original de C caía a 1,6 % con siembra directa y a 0,98 % con laboreo convencional. En este mismo sitio, Ismail et al. (1994) citados por Martens (2000), lograron recuperar el contenido de C orgánico al nivel original con la incorporación de un cultivo de cobertura de invierno y aplicaciones más altas de fertilizante nitrogenado.

Dabney et al. (1993), citados por Martens (2000), también reportan un descenso del contenido de C orgánico a partir de una pastura permanente para una rotación de soja continua de 22,4 y 13,3 % con laboreo convencional y siembra directa respectivamente en sólo dos años de estudio.

En la región pampeana húmeda de la Argentina, Andriulo y Cordone (1998) en diferentes experimentos que incluyen siembra directa estudiaron la evolución de la materia orgánica y observaron que después de una pastura de seis años a base de Festuca, con una rotación trigo/soja – maíz de muy buena productividad, la siembra directa elevó el contenido de C del suelo mientras que el laboreo convencional y vertical (con cincel) mantuvieron los valores de partida luego de 12 años.

Sin embargo, cuando el punto de partida fue un suelo degradado bajo agricultura continua y con problemas de compactación, los rendimientos de los cultivos bajo siembra directa fueron iguales o menores que bajo laboreo convencional o vertical por lo que no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos en el contenido de C orgánico.

En Uruguay, los sistemas de siembra directa bajo cultivo continuo se han desarrollado sobre suelos en general manejados en rotación con pasturas y con altos niveles de fertilidad natural. En este caso la elección de la secuencia de cultivos, incluyendo aquellos que dejan altos volúmenes de rastrojo de baja calidad como sorgo o maíz, es fundamental para conservar o incrementar los contenidos de C del suelo.

En este sentido Ernst (2000), para un experimento de manejo de suelos instalado en Uruguay en 1993, determinó que luego de siete años el stock de C orgánico en la profundidad 0-12 cm se mantuvo para los tratamientos de agricultura continua y rotación cultivo-pastura sin laboreo. En cambio sí se detectaron reducciones en los tratamientos bajo laboreo convencional. La disminución en la tasa de mineralización de la materia orgánica y de los procesos de erosión en los tratamientos sin laboreo serían las principales causas de estos resultados.

En rotaciones de cultivos forrajeros para pastoreo o silo que no incluyen pasturas es altamente probable que se generen balances negativos de C por el bajo retorno de los residuos. Esto ha sido observado para las condiciones de Uruguay por Morón et al. (datos no publicados).

Inclusión de leguminosas anuales en sistema bajo cultivo continuo

La inclusión de leguminosas anuales en sistemas de siembra directa bajo cultivo continuo puede ser una alternativa interesante para reducir las necesidades de fertilizante nitrogenado. La contribución será positiva en la medida que otros factores, como por ejemplo el uso de agua del suelo por la leguminosa, no sea limitante para el cultivo posterior.

En el sudeste de Estados Unidos éste es un tópico que ha sido muy estudiado. Smith et al. (1987) en una amplia revisión sobre el tema estimaron que diferentes especies de leguminosas anuales pueden acumular un promedio de más de 100 kg de N/ha en la parte aérea.

Estos autores estiman, basándose en varios experimentos, un valor de equivalente fertilizante de entre 75 y 100 kg de N/ha. Con este cálculo en general se sobrestima la capacidad de aporte de N debido a que otros factores englobados en el concepto «efecto rotación» no pueden ser separados del efecto del N.

En Uruguay, Torres y del Pino (1995) evaluaron el efecto de un trébol rojo de corta duración sobre la disponibilidad de N para cultivos de invierno y verano. El N acumulado en la parte aérea tuvo un rango de 60 a 150 kg de N/ha. En general los cultivos de invierno mostraron baja recuperación aparente del N proveniente del residuo de las leguminosas, pasando buena parte de éste al pool de N orgánico del suelo. En cambio en los cultivos de verano, la descomposición del residuo se vio acelerada por la temperatura y existió una buena sincronización entre la demanda de N por el cultivo y la oferta de N por parte del suelo.

En general el objetivo principal del uso de una leguminosa anual en una rotación de cultivos de grano es lograr la mayor sincronización posible en estos dos aspectos. Para ello es necesario conocer además como son los patrones de liberación de N de los residuos de leguminosas en superficie. Wilson y Hargrove (1896) determinaron tasas de descomposición más lentas para residuos de leguminosas en superficie. El porcentaje de N remanente en los residuos a las 4 y 16 semanas fue de 40 y 31 % con laboreo convencional y 63 y 36 % con siembra directa, teniendo este sistema una mayor variación entre años.

Otro factor muy importante es determinar el momento óptimo de secado de la leguminosa para maximizar la residualidad de N para el cultivo siguiente.

Wagger (1989) comparó la liberación de N de residuos de *Trifolium incarnatum* en dos estados de desarrollo: 50 por ciento de floración y comienzo de llenado de grano. Si bien en el 2º tratamiento el contenido de N era mayor, la tasa de descomposición fue más lenta debido a una mayor proporción de carbohidratos estructurales. Estudios posteriores (Ranells y Wagger, 1992) estimaron que la liberación de N por esta leguminosa fue de 50 a 70 kg de N/ha para el fin de la floración y representaba la alternativa mejor para el cultivo de verano posterior.

Parece claro entonces que en aquellos sistemas que incluyen solamente cultivos para grano, la alternancia con leguminosas anuales es una opción razonable para reducir la dependencia del fertilizante nitrogenado.

Inclusión de la siembra directa en los sistemas mixtos: cambios en la dinámica de nitrógeno

Mineralización – inmovilización de N bajo siembra directa

Bajo siembra directa se producen cambios que pueden tener impactos sobre la dinámica de N, independientemente del sistema de producción. La acumulación de residuos en superficie de más lenta descomposición que en condiciones de laboreo convencional, determina un incremento en el contenido de materia orgánica en la zona superficial con una marcada estratificación de nutrientes.

La no-remoción del suelo, los mayores contenidos de humedad y las menores temperaturas son factores que afectan la tasa de mineralización de N. El pasaje de una situación de laboreo convencional a uno de siembra directa determina una fase de inmovilización de N en las etapas iniciales dependiendo esto de cuán degradado esté el suelo originalmente.

En general, es esperable que la conversión de sistemas de laboreo convencional a siembra directa determine en los primeros años menores disponibilidades de nitrógeno mineral debido a una tasa de mineralización de N más lenta y paralelamente una mayor inmovilización de N.

En ese sentido, en Uruguay, en una red de experimentos de fertilización de cebada cervecera, Hoffman y Perdomo (1999) encontraron en general disponibilidades bajas de N mineral como nitrato en situaciones sin laboreo y una mayor respuesta al agregado de N. Cabe acotar que estas situaciones estaban en general bajo siembra directa ocasional.

Es esperable que en un sistema continuo de siembra directa aumente el pool de N orgánico y del N potencialmente mineralizable. Así, Bordoli et al. (1999), trabajando en ensayos de respuesta a N en trigo en sistemas de siembra directa ya establecidos,

reportó muchas situaciones en las que no hubo respuesta al agregado de nitrógeno por una disponibilidad suficiente de nitratos en el suelo.

Martens (2000) reporta que mientras en sistemas de laboreo convencional, el C se vuelve limitante acelerando la liberación de N, en la siembra directa el N es el factor limitante por el proceso de inmovilización.

La incorporación de la siembra directa en los sistemas de rotación cultivo -pastura presentaría una serie de ventajas: la menor tasa de mineralización del N orgánico por no mover el suelo evitaría la caída tan pronunciada del contenido de N del suelo que se observa cuando se roturan buenas pasturas bajo laboreo convencional. El aporte de N proveniente de la pastura sería entonces más estable y duradero en el tiempo permitiendo recuperaciones de N más altas por los cultivos y permitiría plantear la hipótesis de alargar la fase de cultivos con respecto a lo que sucede bajo laboreo convencional.

Al igual que bajo laboreo convencional, son previsible efectos de corto y largo plazo en la dinámica de N.

Siembra directa en sistemas mixtos: efectos de corto plazo en la dinámica de nitrógeno

Uno de los objetivos más importantes a corto plazo, es lograr que en la fase de salida de la pastura exista una buena disponibilidad de N mineral para el 1er cultivo en la medida que esto representa un ahorro de fertilizante nitrogenado.

Para esto es necesario tener en cuenta entre otros, los siguientes factores: el tipo o calidad de la pastura de la cual se parte, el momento del año que determina ambientes más o menos favorables para la descomposición de los residuos y variaciones en las tasas de mineralización de N del suelo y también la fertilidad del suelo.

Tipo y calidad de la pastura

La calidad de la pastura, que puede caracterizarse en base a su relación C/N, contenido de lignina, entre otros, afecta fuertemente la tasa de descomposición de los residuos.

Si la situación de partida es una pradera vieja con un fuerte componente de pasto bermuda o gramón (*Cynodon Dactylon* L.), la alta relación C/N de sus residuos (mayores a 30) determinará condiciones de inmovilización neta por un período largo de tiempo. Por el contrario, los residuos de leguminosas si bien presentan tasas más lentas de descomposición en superficie que enterrados, producen condiciones de mineralización neta de N y pueden determinar acumulaciones de N mineral suficientes para el cultivo.

En ese sentido, Varco et al. (1993), trabajando con residuos de vicia marcados con N¹⁵ encontraron una mayor disponibilidad de N mineral para el 1er cultivo con residuos enterrados que en superficie. Esto fue atribuido a una tasa de descomposición más rápida con el residuo enterrado. Los autores encontraron además una mayor inmovilización temporaria de N en la biomasa microbiana bajo laboreo convencional debido a la mayor tasa de descomposición del residuo.

Temperatura y época del año

El momento del año es otro factor que afecta los procesos de descomposición y mineralización. El aumento de la temperatura provoca incrementos en la tasa de descomposición de los residuos y además acelera la tasa de mineralización de N orgánico del suelo.

El período de barbecho como variable de manejo

Una manera de manejar las diferencias en la calidad de las pasturas y el momento del año en donde comienza la fase de cultivos y lograr una adecuada acumulación de N mineral, es la utilización estratégica del tiempo de barbecho, que se define como el período que transcurre entre la aplicación del herbicida total y la siembra.

En términos generales, con residuos de baja calidad (de alta relación C/N) los tiempos de barbecho necesarios para lograr una disponibilidad de N mineral aceptable deberían ser más largos que con residuos de baja relación C/N. Por otra parte, si tenemos un cultivo de invierno como cabeza de rotación, los períodos de barbecho deberían ser más largos porque las bajas temperaturas y el bajo contenido de N mineral en el suelo van a ser limitantes para la descomposición.

Ernst (2000) en praderas viejas dominadas por *Cynodon*, encontró una mayor disponibilidad de N mineral como nitrato a la siembra para un cultivo de avena con los barbechos de mayor duración (97 y 105 días para dos situaciones). En otros trabajos sobre situaciones similares, este autor sugiere como alternativa la utilización de un verdeo de verano corto, previa aplicación de glifosato en el mes de noviembre, para cumplir con el doble propósito de controlar y acelerar la descomposición del pasto bermuda y obtener un rédito del verdeo sembrado.

Cuando un cultivo de verano es cabeza de rotación luego de una pradera o verdeo, el largo de barbecho es una variable que puede afectar además de la disponibilidad de nitrógeno, la reserva de agua disponible para el cultivo de verano. Esto será especialmente importante en suelos con baja capacidad de almacenaje de agua o con limitaciones para el desarrollo radicular como sucede en suelos con diferenciación textural (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de la duración del barbecho sobre la disponibilidad de N mineral y humedad (porcentaje en peso) a la siembra de maíz y sorgo para dos situaciones de partida (Sawchik, 2000).

Duración del período de barbecho (días)	Antecesor: Pastura (60 – 70 % de leguminosas)	
	Concentración de N-NO ₃ (mg/kg) a 0-20 cm de prof.	Humedad en peso (expresada como %)
106	41,1	21,1
61	39,5	17,7
35	23,4	13,1
Antecesor: Avena + Raigrás		
102	12,7	22,0
72	10,8	18,9
34	5,7	16,0

Cuando el antecesor fue una pastura de buena calidad, un mayor período de barbecho determinó una mayor acumulación de N mineral al momento de la siembra. Sin embargo, los valores de nitrato obtenidos fueron suficientes para los cultivos de verano en todos los tratamientos. El período de barbecho largo permitió un mayor almacenaje de agua para el cultivo. Ernst (2000) reporta un mayor contenido de humedad en el suelo para

un cultivo de maíz sobre maíz que cuando el antecesor fue una avena creciendo hasta la siembra del cultivo de verano.

En la situación que provenía de avena – raigrás, también existió un efecto del largo de barbecho en la acumulación de N. Sin embargo el suelo estaba bajo un sistema de siembra directa continuo de cultivos anuales forrajeros y presentaba un PMN mucho menor.

Mohr et al. (1999) estudiaron el efecto del laboreo y el momento de terminación de una pastura de alfalfa sobre la capacidad de suministro de N para cultivos de trigo posteriores. La aplicación de un herbicida total y el no laboreo enlentecieron la liberación de N de los residuos de alfalfa y determinaron una menor capacidad de suministro de N que bajo laboreo convencional, coincidente con los resultados obtenidos por Varco et al. (1991).

A pesar de esto, bajo no laboreo, se produjo una buena sincronización entre la oferta de N de los residuos de leguminosas y la demanda por el cultivo de trigo. Los autores sugieren que esta medida de manejo reduce las probabilidades de pérdida de N mineral. Estos resultados concuerdan con los de Levin et al. (1987), quienes encontraron dosis óptimas de N similares para maíces sembrados en laboreo convencional y siembra directa sobre pasturas de alfalfa de larga duración.

Mohr et al. (1999) observaron que cuando el período de barbecho se acertaba (herbicida aplicado cerca de la siembra del trigo) se redujo notoriamente la disponibilidad de N y los rendimientos posteriores del trigo. Los efectos de los tratamientos se diluyeron luego del 1er cultivo.

En la Figura 5 se presenta la evolución del N mineral como nitrato hasta la siembra de un cultivo de trigo, en la salida de una pastura de alfalfa bajo laboreo convencional o siembra directa.

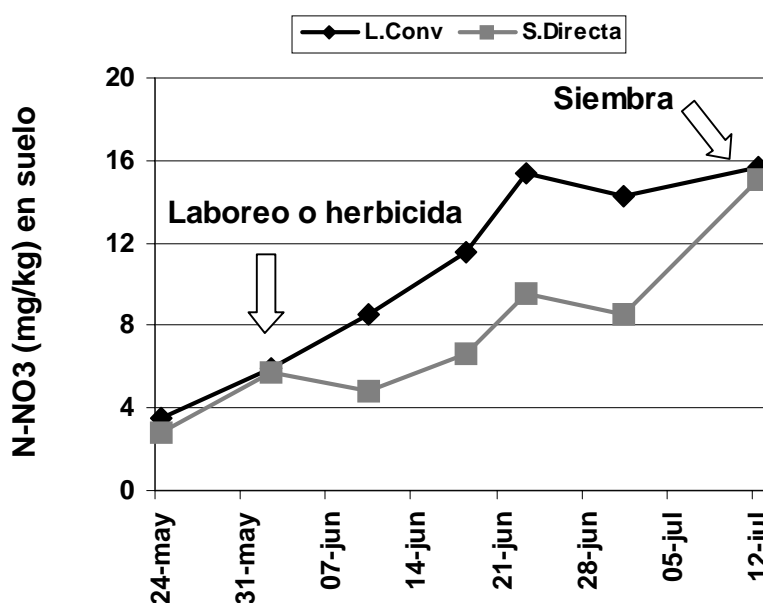


Figura 5. Evolución de la concentración de nitratos en el suelo para la salida de pastura de alfalfa en laboreo convencional y siembra directa; información de un experimento de rotaciones y laboreo instalado en 1996 en INIA La Estanzuela.

En este caso los tratamientos de aplicación del herbicida total y laboreo se realizaron en la misma fecha. Con un barbecho de 45 días sobre una pastura de buena calidad se alcanzó la misma disponibilidad de N como nitrato tanto en convencional como en siembra directa. No hubo diferencias significativas en el nivel de nitratos luego de la siembra del trigo, ni en la absorción de N por el cultivo (datos no presentados). Esto enfatiza la importancia de adecuar los períodos de barbecho al tipo de pastura y época del año.

Siembra directa en sistemas mixtos: efectos de largo plazo en la dinámica de C y N

Como se dijo previamente, la inserción de pasturas en sistemas bajo siembra directa tiene además de los efectos de corto plazo ya reseñados, variaciones en el mediano y largo plazo en indicadores relacionados con la dinámica de C y N.

Con esta hipótesis, en 1996, en INIA La Estanzuela se inició un experimento que contrasta por un lado la inclusión o no de pasturas en sistemas de siembra directa y laboreo convencional y en segundo lugar el manejo de los rastrojos como variable de directa implicancia en el corto y largo plazo en el funcionamiento del sistema.

Sawchik y Morón (1999) reportan necesidades mayores de fertilizante nitrogenado bajo siembra directa en los primeros años del experimento. La situación de partida era un suelo degradado, y probablemente la inmovilización de N sea la razón de esto. Las deficiencias en disponibilidad de nitrógeno fueron más marcadas en los cultivos de invierno y especialmente en la cebada que se siembra luego de maíz (residuo de alta relación C/N).

Los autores no detectaron diferencias significativas en el contenido de C orgánico y N total para los tratamientos evaluados. Las tendencias muestran un leve descenso del C orgánico con respecto al valor original en el tratamiento de cultivo continuo bajo laboreo convencional. Cuando se retiran los rastrojos esa tendencia se acentúa.

Se detecta una importante estratificación para estos dos indicadores en los tratamientos de siembra directa (cultivo continuo o rotación cultivo - pastura).

En la Figura 6 se presenta la evolución del N total del suelo en superficie (0-7,5 cm) para algunos tratamientos del experimento.

Los resultados muestran una caída en el contenido de N total en el tratamiento de cultivo continuo con retiro parcial del rastrojo, mientras que cuando se deja el rastrojo el N total permanece constante. Si consideramos que la situación de partida fue una pastura vieja de Lotus, resulta interesante que luego de cinco años de cultivo continuo con buenas productividades, no se producen en este tratamiento las caídas de N total observadas normalmente bajo laboreo convencional.

Por otra parte, es clara la acumulación de N durante la fase de pastura de alfalfa. La caída en el contenido de N total una vez empezada la fase de cultivos es mayor en el tratamiento de laboreo convencional que en el de siembra directa (datos no presentados). Esta información primaria avala la hipótesis que bajo siembra directa la residualidad del N dejado por las pasturas sería más estable en el tiempo.

Heeman (1996) citado por Kumar y Goh (1999) encontró que una rotación de trébol subterráneo y trigo bajo siembra directa y retención de residuos presentó contenidos de C orgánico y N total mayores que la misma rotación con laboreo convencional o con siembra directa y retiro de forraje.

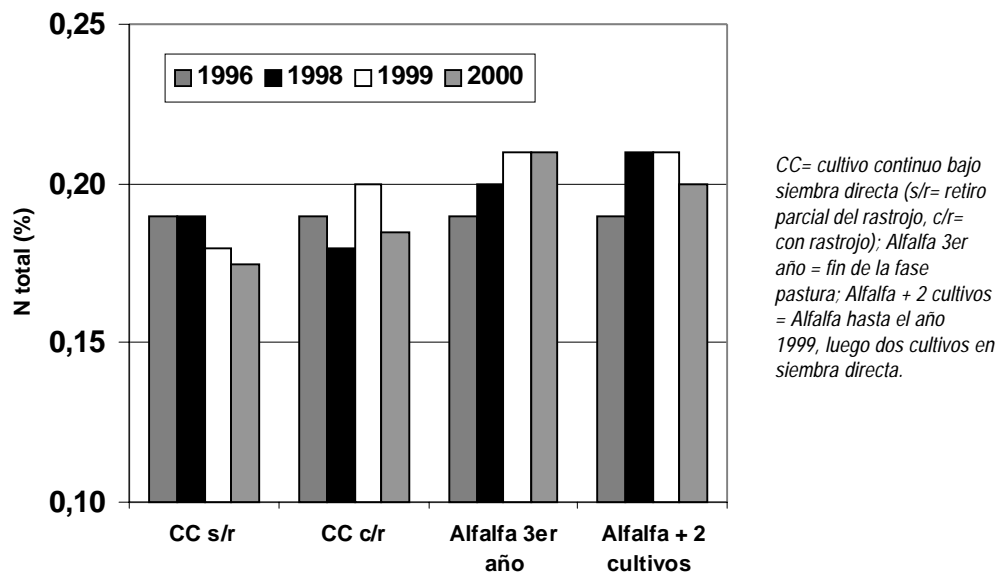


Figura 6. Evolución del N total del suelo (0-7.5 cm de profundidad) para diferentes tratamientos en experimento de rotaciones bajo siembra directa instalado en 1996 en INIA La Estanzuela.

Cambios en los componentes más activos del C y N orgánicos

Si bien los indicadores de largo plazo, mencionados para el experimento de La Estanzuela, mostraron tendencias de cambio, es necesario identificar indicadores más sensibles que reflejen en mayor medida los cambios que se están induciendo por el manejo de los suelos.

En la Figura 7 se presentan los potenciales de mineralización de N por incubación anaeróbica para algunos tratamientos seleccionados en el experimento.

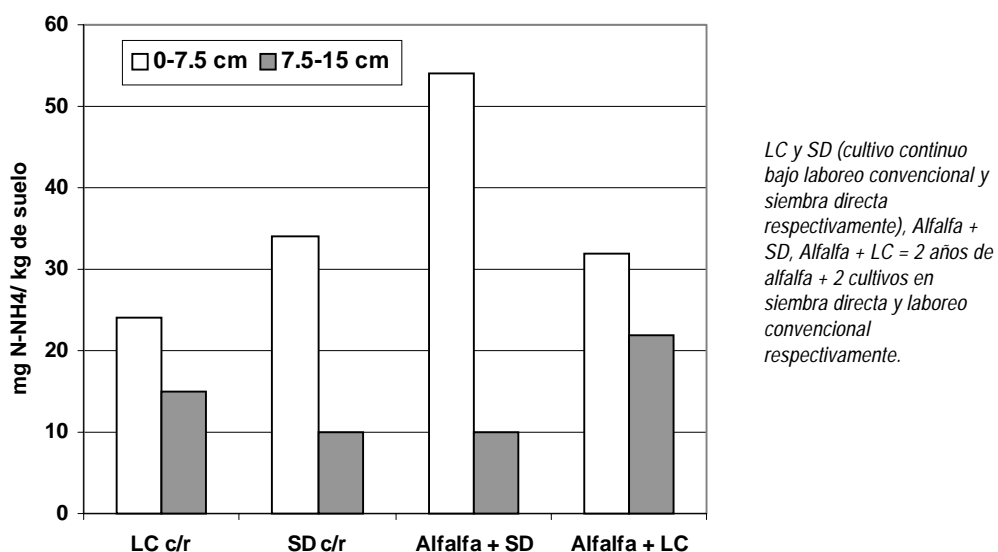


Figura 7. N mineralizado por incubación anaeróbica para tratamientos seleccionados en experimento de rotaciones bajo siembra directa instalado en 1996 en INIA La Estanzuela.

El PMN se mostró como una variable más sensible para detectar los cambios producidos por los diferentes manejos. Los resultados muestran una clara estratificación en los tratamientos de siembra directa, tanto en cultivo continuo como en la rotación cultivo – pastura.

Luego de cinco años de cultivo continuo, los valores de PMN son bajos tanto en laboreo convencional como en siembra directa, indicando que el pool de N más lábil es menor en estos sistemas.

En cambio, los sistemas que salen de pasturas presentan valores más altos de PMN, sobre todo cuando la fase de cultivos se inicia bajo siembra directa. Estas diferencias disminuyen en la medida que se considera todo el perfil muestreado.

Cabe acotar que el PMN tiene como limitante importante el hecho que no necesariamente ese potencial se traduzca en diferencias tan grandes en la mineralización de N a campo. En invierno, en condiciones de suelo frío, con limitaciones en las tasas de mineralización de N, las diferencias entre manejos pueden expresarse en forma más débil.

El uso de otros indicadores como por ejemplo la materia orgánica particulada (POM) con una tasa de reciclaje mayor que la materia orgánica y especialmente el C y N en la POM (C-POM y N-POM) fue explorado con éxito en Uruguay como herramientas para el diagnóstico de uso y manejo de suelos (Morón y Sawchik, 2000).

Estos autores encontraron que tanto el C-POM y N-POM en la fracción gruesa (212 – 2000 micras) presentó una alta asociación con el PMN lo cual sugiere que el N fácilmente mineralizable se encuentra en la POM de mayor tamaño. Estos resultados son similares a los obtenidos por Chan (1997). Este autor sugiere que el C-POM (mayor a 53 micras) representaba la principal forma de C que se pierde y se gana en un ciclo de cultivos y pasturas respectivamente, siendo un indicador mucho más sensible que los tradicionalmente usados.

Ernst (2000) encontró que las secuencias de cultivo sin laboreo determinaron una mayor estabilidad estructural de agregados que bajo laboreo convencional. Chan (1997) reporta que los cambios en la POM están muy asociados a esta medida.

Los sistemas productivos agrícola – ganaderos de la región con un componente fuerte de producción de leche o carne seguirán basándose en la inclusión de pasturas como forma de abaratar los costos del forraje y parece lógico que la inclusión de la siembra directa sea de gran impacto.

La introducción de la siembra directa en la rotación cultivo – pastura parece una excelente alternativa. Desde el punto de vista de la dinámica de N las ventajas parecen ser claras. Una de ellas es la posibilidad de usar más eficientemente el N dejado por la pastura por los cultivos siguientes. Quizás, la interrogante más grande sea hasta donde son sostenibles los sistemas de cultivo continuo para grano desde el punto de vista del balance de N.

La utilización de nuevos indicadores como los reseñados parece ser una herramienta valiosa para detectar cambios en el corto y mediano plazo y así planificar un uso más adecuado del recurso suelo.

Literatura citada

- ANDRIULO, A. y CORDONE, G. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la Región Pampeana Húmeda. In: Panigatti, J.L.; Marelli, H.; Buschiazzi, D.; Gil, R. (eds) INTA Siembra directa. P 65-97.

- BAETHGEN, W.E. 1992. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera. INIA Serie Técnica No 54, 27 p.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; SMITH, M.S.; FRYE, W.W. y CORNELIUS, P.L. 1983. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil & Tillage Research* 3:135-146.
- BORDOLI, M.; QUINCKE, A. y MARCHESI, A. 1999. Fertilización NP de trigo en siembra directa. **In:** 1er Jornada sobre Rendimiento y Calidad de Trigo, Mesa Nacional de Trigo, Mercedes, Uruguay, p 35-40.
- BRUULSEMA, T.W. y CHRISTIE, B.R. 1987. Nitrogen contribution to succeeding corn from alfalfa and red clover. *Agron. J.* 79:96-100.
- CARRIQUIRY, M.; MORÓN, A. y SAWCHIK, J. 1999. Potencial de mineralización de Nitrógeno de suelos del Area agrícola del Uruguay. **In:** Comisión V Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas. 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Chile, Nov. 1999. CD-ROM.
- CHAN, K.Y. 1997. Consequences of changes in particulate organic carbon in Vertisols under pasture and cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1376-1382.
- CROZIER, C.R.; KING, L.D. y HOYT, G.D. 1994. Tracing nitrogen movement in corn production systems in the North Carolina Piedmont: Analysis of nitrogen pool size. *Agron. J.* 86:642-649.
- _____; KING, L.D. y VOLK, R.J. 1998. Tracing nitrogen movement in corn production systems in the North Carolina Piedmont: A Nitrogen-15 study. *Agron. J.* 90:171-177.
- DANSO, S.K.A.; CURBELO, S.; LABANDERA, C. y PASTORINI, D. 1991. Herbage yield and nitrogen-fixation in a triple-species mixed sward of white clover, lotus and fescue. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 23:65-70.
- DÍAZ-ROSELLÓ, R. 1992a. Evolución del nitrógeno total en rotaciones con pasturas. *Rev. INIA Inv. Agr.* No 1, Tomo I:27-35.
- _____. 1992b. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos y pasturas. *Rev. INIA Inv. Agr.* No 1, Tomo I:103-110.
- ERNST, O. 2000. Siete años de siembra sin laboreo. Cangüé, Revista de la Estación Experimental "Dr. Mario Cassinoni", Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. No. 20:9-13.
- _____. 2000. Siembra sin laboreo: Manejo del período de barbecho. Cangüé, Revista de la Estación Experimental "Dr. Mario Cassinoni", Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. No. 20:19-21.
- GARCÍA LAMOTHE, A. 1994. Manejo del nitrógeno para aumentar la productividad de trigo. INIA Serie técnica No. 54, 27 p.
- _____. 1998. Fertilización con N y potencial de rendimiento en trigo. **In:** Kohli, M.M.; Martino, D. (eds). "Explorando Altos Rendimientos de Trigo". La Estanzuela, Uruguay, Octubre 20-23, 1997, CIMMYT – INIA, p 207-247.
- _____ y Morón, A. 1992. Estudios de C, N y P en la biomasa microbiana del suelo en tres sistemas de rotación agrícola. *Rev. INIA Inv. Agr.* No 1, Tomo I:111-126.

- GARCÍA, J.A.; LABANDERA, C.; PASTORINI, D. y CURBELO, S. 1994. Fijación de nitrógeno por leguminosas en La Estanzuela. *In*: INIA Serie Técnica No 51:13-18.
- HARRIS, G.H. y HESTERMAN, O.B. 1990. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agron. J.* 82:129-134.
- _____; HESTERMAN, O.B.; PAUL, E.A.; PETERS, S.E. y JANKE, R.R. 1994. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long term cropping systems experiment. *Agron. J.* 86:910-915.
- HOFFMAN, E. y PERDOMO, C. 1999. Criterios para el manejo de la fertilización nitrogenada en cultivos extensivos bajo cero laboreo. Curso de Actualización "Siembra sin laboreo de cultivos y pasturas". Facultad de Agronomía – INIA – PROCISUR CD - ROM.
- HOLFORD, I.C.R. 1980. Effects of duration of grazed lucerne on long-term yields and nitrogen uptake of subsequent wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 31:239-250.
- HOSSAIN, S.A.; DALAL, R.C.; WARING, S.A.; STRONG, W.M. y WESTON, E.J. 1996. Comparison of legume-based cropping systems at Warra, Queensland. I. Soil nitrogen and organic carbon accretion and potentially mineralisable nitrogen. *Aust. J. Soil Res.* 34:273-287.
- KUMAR, K. y GOH, K.M. 2000. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy* 68:197-319.
- JARVIS, S.C.; STOCKDALE, E.A.; SHEPHERD, M.A. y POWLSON, D.S. 1996. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurement. *Advances in Agronomy* 57:187-235.
- LADD, J.N. y AMATO, M. 1986. The fate of nitrogen from legume and fertilizer sources in soils successively cropped with wheat under field conditions. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 18, 4:417-425.
- LAL, R.; MAHBOUBI, A. A. y FAUSEY, N.R. 1994. Long term tillage and rotation effects on properties of a Central Ohio soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:517-522.
- LEVIN, A.; BEEGLE, D.B. y FOX, R.H. 1987. Effect of tillage on residual nitrogen availability from alfalfa to succeeding corn crops. *Agron. J.* 79:34-38.
- MALLARINO, A.P. y WEDIN, W.F. 1990. Seasonal distribution of topsoil ammonium and nitrate under legume-grass and grass swards. *Plant and Soil* 124:137-140.
- MARTENS, D.A. 2000. Nitrogen cycling under different soil management systems. *Advances in Agronomy* 70:143-191.
- MARTINO, D.; CALDEYRO, M.; BOZZANO, A.; BAETHGEN, W. y DÍAZ, R. 1986. Residualidad del nitrógeno dejado por pasturas. II. Efecto de la duración de pasturas. *Investigaciones Agronómicas* No. 7 Vol. 1:59-66.
- MCCOWN, R.L.; COGLE, A.L.; OCKWELL, A.P. y REEVES, T.G. 1987. Nitrogen supply to cereals in legume ley systems under pressure. *In*: Wilson, J.R. ed. *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems, Australia*, p 292-314.
- MOHR, R.M.; ENTZ, M.H.; JANZEN, H.H. y BULLIED, W.J. 1999. Plant available nitrogen supply as affected by method and timing of alfalfa termination. *Agron. J.* 91:622-630.

- MORÓN, A. y SAWCHIK, J. 2000. Diagnóstico de uso y manejo de suelos mediante nuevos indicadores biológicos en Uruguay. 8º Congreso Nacional AAPRESID Mar del Plata, Argentina.
- MORRIS, T.F.; BLACKMER, A.M. y EL-HOUT, N.M. 1993. Optimal rates of nitrogen fertilization for first-year corn after alfalfa. *J. Prod. Agric.* 6:344-350.
- PERDOMO, C.; HOFFMAN, E.; PASTORINI, M. y PONS, C. 1999. Fertilización nitrogenada en el cultivo de cebada cervecera. **In:** VIII Jornadas de Investigación en Cebada Cervecera. Mesa Nacional de Entidades Malteras. Minas, Uruguay.
- RANNELLS, N.N. y WAGGER, M.G. 1992. Nitrogen release from crimson clover in relation to plant growth stage and composition. *Agron. J.* 84:424-430.
- SAWCHIK, J. y MORÓN, A. 1999. Rotaciones bajo siembra directa: Avance de Resultados. **In:** Serie de Actividades de Divulgación No. 188, p 21-23.
- _____; 2000. Importancia y manejo de los rastrojos para siembra directa. Seminario "Actualizando la tecnología en control de malezas", Setiembre de 2000, INIA La Estanzuela, Uruguay.
- SCHOMBERG, H.H.; FORD, P.B. y HARGROVE, W.L. 1994. Influence of crop residues on nutrient cycling and soil chemical properties. **In:** Unger, P.W. ed. *Managing agricultural residues*: p 100-116.
- SMITH, M.S.; FRYE, W.W. y VARCO, J.J. 1987. Legume winter cover crops. *Advances in Soil Science* 7:96-132.
- STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E. y CASANOVAS, E.M. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1466-1472.
- TORRES, D. y DEL PINO, A. 1995. Dynamics of soil nitrogen in agrosystems with addition of fertilizer and incorporation of legumes. **In:** Ljunggren, H.; Favelukes, G.; Dankert, M.A. (eds.) SAREC, Conference Efficient use of Biological Nitrogen Fixation: Accomplishments and Prospects. Buenos Aires, December 5-7, 1995.
- VARCO, J.J.; GROVE, J.H.; FRYE, W.W. y SMITH, M.S. 1991. Nitrogen availability from alfalfa suppressed or killed for no-till production. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22:1527-1535.
- _____; FRYE, W.W.; SMITH, M.S. y MACKOWN, C.T. 1993. Tillage effects on legume decomposition and transformation of legume and fertilizer nitrogen-15. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:750-756.
- WAGGER, M.G. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops.
- WILSON, D.O. y HARGROVE, W.L. 1986. Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1251-1254.

Eficiencia del uso del nitrógeno en maíz con siembra directa en la región pampeana norte de Argentina

Efecto de la densidad de plantación

por Hugo Fontanetto*

Introducción

Los sistemas de producción que tratan de optimizar la producción de maíz en la región central de la provincia de Santa Fe, tienen en la eficiencia del uso del nitrógeno una de las principales herramientas. Su importancia radica en que el insumo fertilizante nitrogenado permite lograr incrementos de rendimientos significativos, cuando otros tópicos que hacen al manejo del cultivo se emplean en forma eficiente (Lemcoff y Loomis, 1986; Darwich, 1990).

El mencionado nutriente es el que se requiere en mayor cantidad por el maíz, controlando en mayor medida su producción (Andrade et al, 1996) y por ende, tornándolo en el más limitante en diversos suelos bajo agricultura continua.

Los estudios del efecto de la fertilización nitrogenada sobre los rendimientos del maíz son numerosos. Así, existen trabajos sobre la eficiencia de uso del nitrógeno en relación a diferentes dosis del nutriente y a momentos de aplicación (Russelle et al, 1983) y también a dosis de nitrógeno y diferentes densidades de plantación (Lemcoff and Loomis, 1986 ; Andrade et al, 1992).

La eficiencia de uso del nitrógeno puede estudiarse de acuerdo a la metodología propuesta por Huggins y Pan (1993), donde se la utiliza para evaluar el uso del nitrógeno en ambientes y sistemas de distinta productividad.

En la región central de Santa Fe se demostró que con suministro no limitante de nitrógeno (Fontanetto, 1999), densidades superiores a 95.000 plantas/ha provocan una disminución de los rendimientos debido a restricciones ambientales (radiación, temperaturas máximas y mínimas). Pero falta precisar cual sería la densidad óptima con una dosis de N no limitante y en condiciones de riego suplementario, determinaría la mayor eficiencia de uso del nitrógeno.

Por lo expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la eficiencias de uso del nitrógeno en maíz con siembra directa y riego suplementario, con diferentes densidades de plantación.

* Ing. Agr. MSc, (EEA Rafaela-INTA). E-mail: hfontanetto@rafaelainta.gov.ar

Material y métodos

La experiencia se realizó en el campo experimental de la EEA Rafaela del INTA durante la campaña 1998/99, sobre un suelo Serie Rafaela y utilizando el híbrido Titanium F1.

Se evaluaron tres densidades de siembra: 65.000, 80.000 y 95.000 plantas/ha y una dosis de nitrógeno: 200 kg/ha, con el agregado de un tratamiento adicional de 80.000 plantas/ha sin la incorporación de N. Las unidades experimentales fueron de 6 surcos de ancho a 0,70 m entre sí por 15 m de longitud, las que se dispusieron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

La siembra se realizó con una sembradora de siembra directa de tres surcos el 2/09/98 y las densidades se ajustaron en forma manual (raleo) en el estadio V2 del maíz (Ritchie y Hanway, 1982). La fertilización se efectuó a la siembra (60 %) y en el estadio V6 (40 %) (Ritchie y Hanway, 1982).

Se determinaron el contenido de nitrógeno total (Nt) (0-20 cm) y el de nitrógeno de nitratos (N-NO₃) del suelo (0-100 cm) a la siembra y en R6 (Ritchie y Hanway, 1982). La humedad del suelo se mantuvo por sobre el 60 % de agua útil en los primeros 70 cm del perfil del suelo durante todo el ciclo del cultivo.

Se evaluó la materia seca y el Nt en plantas en los diferentes órganos de las mismas en los estadios: V6, V10, R1 y R6 (Ritchie y Hanway, 1982). El rendimiento en granos se evaluó sobre dos surcos apareados de 7,15 m de longitud en las tres repeticiones y se llevó a 14 % de humedad.

Se realizó el análisis de la variancia para las variables antes mencionadas y para las diferencias significativas se utilizó el método de comparación de medias (Tukey 5 %).

La eficiencia de uso del nitrógeno se analizó de acuerdo a la metodología propuesta por Huggins y Pan (1993), considerando los componentes que se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Componentes de la eficiencia de uso del nitrógeno evaluados.

Rg/Ns	Eficiencia de uso: kg de grano producido por kg de N suministrado
Nt/Ns	Eficiencia de absorción: Kg de N absorbido por unidad de N suministrado
Rg/Nt	Eficiencia de utilización: grano producido por unidad de N absorbido
Ng/Nd	Eficiencia de acumulación de N en grano: kg de N en grano por unidad de N disponible
Na/Nt	Fracción de N acumulada en el período R1-R6
Ng/Nt	Índice de Cosecha del N
Nr=Ng-Na	Removilización de N desde estructuras vegetativas a grano
N min.	N mineralizado durante la estación de crecimiento del cultivo

Rg: Rendimiento en granos; Ns (N suministrado): N-NO₃ a siembra (0-100 cm) + N mineralizado en el ciclo en parcelas sin N + N del fertilizante; Nd (N disponible): Nt acumulado en planta en R6 en parcelas sin N + N-NO₃ en suelo (0-100 cm) en R6; Ng: Nt en grano en R6; Na: N acumulado de R1 a R6; Nr: N removilizado desde estructuras vegetativas a los granos desde R1 a R6.

Resultados y discusión

La mineralización neta se cuantificó en las parcelas con 80.000 plantas/ha sin el agregado de N. Se la consideró como la sumatoria del Nt acumulado en la materia seca del cultivo en R6, más el contenido de N-NO₃ del suelo (0-100 cm) en R6, menos los N-NO₃ del suelo (0-100 cm) a la siembra, de acuerdo a lo propuesto por Meissinger (1984). Los valores y el de otras determinaciones efectuadas se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Nitrógeno total del suelo (0-20 cm) a la siembra (Nt-S), N mineralizado (N min.), N-NO₃ (0-100 cm) a siembra (N-NO-S), Nitrógeno total en la biomasa en R6 (Nt-pl-R6), N-NO₃ del suelo hasta 1 metro de profundidad en R6 (N-NO₃-R6), Nitrógeno Disponible (Nd) y Nitrógeno Suministrado (Ns).

Nt-S	N min.	N-NO ₃ -S	Nt-pl-R6	N-NO ₃ -R6	Nd	Ns
(%)	-----		(kg/ha)	-----		
0,164	111	51,6	206,3	68,7	275,0	362,6

El valor de Nt-S muestra un suelo con una moderada cantidad de nitrógeno orgánico potencialmente mineralizable, con bajos niveles de N-NO₃ y moderados a altos valores de N min. (Cuadro 2).

El Ns fue suficiente para alcanzar el rendimiento potencial del maíz (Cuadro 2), considerando que son necesarios 18-20 kg de N por cada tonelada de grano producido.

El efecto de las densidades de plantas sobre algunos parámetros del cultivo y los rendimientos se detallan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Nitrógeno total en la biomasa en R1 (Nt-pl-R1), Nitrógeno total en la biomasa en R6 (Nt-pl-R6), Nitrógeno en grano en R6 (Ng) y Rendimiento en granos del maíz con diferentes densidades de plantación.

Densidad (pl/ha)	Nt-pl-R1	Nt-pl-R6	Ng	Rendimiento
	-----		kg/ha	-----
65.000	206,3	286,5	164,7	12.480
80.000	212,0	303,0	189,8	14.240
95.000	219,7	318,8	185,0	13.910
C. V. (%)	5,8	6,8	6,3	8,1
D. M. S.	9,1	12,4	8,2	220

c. v.= coeficiente de variación ; D. M. S.= diferencia mínima significativa.

El Nt-pl-R1 y el Nt-pl-R6 aumentaron al incrementarse la densidad de plantas, aunque no son estadísticamente diferentes los valores para 80.000 y 95.000 pl/ha, respectivamente (Cuadro 3). La mayor cantidad de Nt en R1 y R6 estuvo relacionada con los más altos valores de índice de área foliar (datos no presentados), lo que posiblemente provocó un incremento de la radiación interceptada.

El Ng en cambio presentó su máximo con la densidad media, al igual que el rendimiento en granos (Cuadro 3). Esto indicaría una restricción del ambiente para soportar las poblaciones mayores como la aquí ensayada (95.000 pl/ha), puesto que los mayores valores de Nt-pl-R1 y de Nt-pl-R6 no se asociaron con el comportamiento del rendimiento en granos.

Cuadro 4. Componentes de la eficiencia de uso del nitrógeno en maíz con tres poblaciones de plantas.

Componentes de Eficiencia	65.000 pl/ha	80.000 pl/ha	95.000 pl/ha
Rg / Ns	34,4	39,3	38,3
Nt / Ns	0,79	0,83	0,88
Rg / Nt	43,6	47,0	43,6
Ng / Nd	0,60	0,69	0,67
Na / Nt	0,28	0,30	0,31
Ng / Nt	0,57	0,63	0,58
Nr: Ng – Na	84,5	98,8	85,9

La mayor eficiencia de uso del N se logró con la densidad de 80.000 pl/ha y la menor con 65.000 pl/ha. Esto demuestra que con esta última no se logra extraer del sistema todo el N disponible y queda un remanente de N sin utilizarse por el cultivo. Asimismo, con la densidad de 80.000 pl/ha se lograron los mayores rendimientos en grano (Cuadro 4). La disminución del rendimiento con la máxima densidad estaría indicando un estrés en las plantas por radiación debido al sombreo que se provocan.

Las mayores eficiencias de utilización del N, eficiencia de acumulación de N en granos e índice de cosecha del N se lograron con la densidad de 80.000 pl/ha, lo que indica una mayor absorción y acumulación de N en el maíz con esta densidad (Cuadro 4). Todo lo mencionado produjo mayores tasas de crecimiento.

La removilización de N de estructuras vegetativas a granos también fue mayor con la densidad de 80.000 pl/ha, lográndose con ésta una mejor estrategia de las plantas para satisfacer las demandas de los destinos reproductivos y así alcanzar los mayores rendimientos.

La fracción de N acumulada desde R1 a R6 fue similar para las tres densidades, alcanzando valores de aproximadamente 30 % del Nt en promedio, a pesar que el N suministrado fue alto (362,6 kg/ha). Estos resultados muestran la importancia de tener un alto suministro de N desde el estado de 6 hojas y hasta R1, ya que el maíz lo puede removilizar hacia los destinos reproductivos en forma muy eficiente.

Conclusiones

- En condiciones como la del ensayo es necesario el agregado de altas dosis de N para obtener altos rendimientos.
- Se aumenta la eficiencia de absorción, acumulación y translocación con densidades poblacionales medias.
- La removilización y el rendimiento en granos son mayores con las densidades medias de plantas.
- La adecuación del estándar poblacional a 80.000 pl/ha permitió un uso más eficiente del N desde el punto de vista productivo y ambiental.

Literatura citada

- ANDRADE, F. H.; MARGIOTTA, F. A.; MARTÍNEZ, R. M.; HILAND, P.; UHART, S.; CIRILO, A. y FRUGONE, M.. 1992. Densidad de plantas en maíz. CERBAS, INTA, EEA Balcarce. Boletín Técnico 108. 24 p.
- _____; ECHEVERRÍA, H. E.; GONZALEZ, N. S.; UHART, S. y DARWICH, N. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. CERBAS, EEA INTA Balcarce, Boletín Técnico 134. 17 p.
- DARWICH, N. 1990. Fertilización del cultivo de maíz. **In:** Jornadas de Actualización Profesional sobre cultivos de cosecha gruesa. Buenos Aires. INTA, FAUBA, CPIA, FCALA. Pp 8-14.
- FONTANETTO, H. 1999. Maíz en la región central de Santa Fe. CERBAS, EEA INTA Balcarce. Seminario de Diagnóstico de deficiencias de nitrógeno, fósforo y azufre en cultivos de la región pampeana: 37-41.
- HUGGINS, D. R. and PAN, W. L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: An evaluation of cropping system differences in productivity. *Agronomy Journal* 85: 898-905.
- LEMCOFF, J. H. and LOOMIS, R. S. 1986. Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Science*, 26: 1017-1022.
- MEISSINGER, J. J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil crops system. **In:** R. D. Hauck (de) Nitrogen in Crop Production. ASA-CSSA-SSA Madison, Wisconsin, USA. P 391-416.
- RITCHIE, S. and HANWAY, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Technol. Spec. Rep., 48 p.
- RUSSELLE, M. P.; HAUCK, R. A. and OLSON, R.A. 1983. Nitrogen accumulation rates of irrigated maize. *Agronomy Journal* 75: 593-598.

Fertilización de cultivos en siembra directa en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina

por Carlos Galarza*, Vicente Gudelj*, Pedro Vallone* y Guillermo Nieri**

Tres etapas se han sucedido en el proceso de adopción de la fertilización en el área pampeana húmeda argentina: a) Un período anterior a 1980 de agricultura convencional con uso restringido de agroquímicos, en el cual se mantenía un alto porcentaje de superficie bajo ganadería. Numerosas investigaciones en fertilización midieron el grado de respuesta de los cultivos determinando su factibilidad, pero los altos costos de los fertilizantes impidieron su adopción; b) Durante la década del 80 se incrementa el uso agrícola del suelo del área. Etapa de transición en los sistemas de labranza y creciente uso de fertilizantes nitrogenados gracias a cambios de relación de precios; c) Desde 1990 se masifica la siembra directa (SD) y la fertilización cuya tendencia apunta a balancear todos los nutrientes para que cubran las cantidades extraídas por los granos.

Los cultivos de maíz y trigo, desplazados por la soja casi a un segundo plano de importancia durante casi dos décadas, están recuperando su papel fundamental en la rotación por los incuestionables aportes en la conservación del suelo, y por las mejoras tecnológicas recientes que los colocan en niveles de producción capaces de competir económicamente con aquélla.

Cuadro 1: Exportación de nutrientes por los granos de soja.

Kg/t de grano cosechados		
NUTRIENTE	PROMEDIO	RANGO CITADO
N	54,0	51 - 58,8
P	5,4	4,3 - 6,4
K	15,7	11,2 - 18,7
Ca	2,3	1,9 - 3,0
Mg	2,3	2,0 - 2,5
S	3,4	2,4 - 5,4
g/t de grano cosechado		
B	26,0	20 - 34
Cu	12,0	10 - 15
Fe	131,0	70 - 219
Mn	25,0	18 - 30
Mo	4,5	4 - 5
Zn	39,0	30 - 47

Flannery(1989); Yamada (1998); Bundy & Oplinger (1984); Tanaka et al.(1993); EMBRAPA (1998).

El cultivo de soja es uno de los más extractivos de la región pampeana. Se destaca por su consumo no sólo de fósforo(P) sino de los otros elementos principales, potasio(K), azufre(S), magnesio(Mg), y aún nitrógeno(N). Los balances de N realizados en diferentes ensayos indican valores de variada magnitud pero casi siempre negativos ya que se ha demostrado que su fijación biológica no satisface nunca más del 40-50% de las necesidades de la planta. En el Cuadro 1 se muestra el promedio de nutrientes exportado por cada tonelada de granos de soja según varios autores.

* Ings. Agrs. Técnicos de Depto. Suelos y Producción Vegetal de INTA Marcos Juárez
E-mail: mjsuelos@inta.gov.ar - pvallone@inta.gov.ar

** Agr. Técnico de Depto. Suelos y Producción Vegetal de INTA Marcos Juárez

La gran extracción del cultivo, sumada a la baja reposición que se ha hecho, han resultado en la degradación de los suelos, especialmente aquéllos con más frecuencia de soja en la rotación agrícola.

Los suelos en SD, cubiertos por rastrojos, son más fríos y húmedos, e inicialmente cuentan con una aireación más restringida por lo que la lixiviación de nutrientes solubles y la denitrificación potencial pueden verse incrementadas. Además, al no fragmentar los agregados del suelo y no exponer substratos menos accesibles al ataque microbiano, se limita la mineralización de los nutrientes derivados de la materia orgánica (MO). Todo esto se traduce en una menor fertilidad disponible a lo largo del ciclo de los cultivos.

Fertilización de trigo

La producción de trigo en el área de Marcos Juárez (noroeste de la región pampeana argentina, 32°42´ de Lat.S y 62°07´ de Long.O) depende de dos factores principales: el **agua acumulada** en el perfil del suelo al sembrar, sumada a la que pueda caer durante el ciclo del cultivo, y los **nutrientes disponibles**, para asegurar un buen desarrollo vegetativo hasta floración. En años normales el trigo dispone en esta localidad hasta floración, de 250 mm, sumando reservas del suelo y lluvias. En estas condiciones el cultivo puede desarrollar estructuras reproductivas capaces de dar más de 3.000 kg/ha de grano si la fertilidad del suelo no es limitante.

La lluvia desde floración hasta madurez fisiológica es fundamental para lograr que esas estructuras reproductivas se concreten en un rendimiento real. En promedio, en ese período llueven allí de 150 a 200 mm, (Arce E. y Díaz R., 1996) y son suficientes para «llenar» ese potencial definido anteriormente.

La fertilidad disponible al sembrar, estimada sobre la base del análisis químico de los macronutrientes, da una primera idea de la probabilidad de respuesta a la fertilización. Aquellos suelos con niveles de N de nitratos superiores a 18 ppm presentan bajas probabilidades de respuesta económica.

En climas subhúmedos como el de Marcos Juárez las condiciones de baja temperatura y sequía durante el crecimiento del trigo determinan baja mineralización, por lo tanto: *agua acumulada* y *nitrógeno disponible* a la siembra tienen una altísima correlación con los rendimientos y la respuesta a los fertilizantes. No ocurre esto en climas con más precipitaciones invernales en los que la determinación de nitratos del suelo no ofrece una herramienta adecuada para ser usada en el diagnóstico del nivel de respuesta

Acompañar el análisis químico del suelo con toda la información de historia y manejo, del lote y del cultivo es fundamental para ajustar el diagnóstico y poder predecir mejor las dosis a recomendar. Teniendo en cuenta la curva promedio de respuesta al N de nuestra región, y según la relación insumo-producto actual, las dosis con respuesta económica se extienden hasta 80 kg/ha de N en los lotes modales.

Fertilizaciones con dosis mayores de 80 kg/ha de N disminuyen la eficiencia de uso del nutriente y por lo tanto la rentabilidad de la práctica, pero benefician el *balance de N del suelo* a través de un residuo del cultivo más abundante y con relación C:N más estrecha (Cuadro 2), además de aumentar la calidad del grano obtenido (Tombetta E. 1978; y Tombetta E y Cuniverti M. 1986; y 1995). Aplicaciones con dosis superiores a esos niveles se están recomendando cada vez más frecuentemente, especialmente en lotes de alta producción y en establecimientos en que se consideran las fertilizaciones del sistema como inversión a mediano plazo más que un costo de producción de un único cultivo.

La respuesta promedio del área, con agregados de 50-60 kg/ha de N es de 8-10 kg de grano por cada uno de N aplicado, manteniendo las proteínas en niveles superiores a la base de comercialización. Si las dosis se elevan a 80 kg/ha de N la eficiencia de uso del

Cuadro 2: Contenido de nitrógeno (%N) y relación C:N de residuos de cultivos después de la cosecha o en el momento de uso como cobertura.

RASTROJO EVALUADO	% DE N	RELACION C:N
Trigo Cvar. "Oasis" SD s/fertilizar	0,38	102
Trigo Cvar. "Oasis" SD c/fertilizac.*.	0,44	96
Trigo Cvar. "Don Ernesto" SD s/fert.	0,46	88
Trigo Cvar. "Don Ernesto" SD c/fert.*	0,47	86
Tr. Cvar. "Don Ernesto" Lab. Red. s/fert.	0,51	80
Tr. Cvar. "Don Ernesto" Labr. Red. c/fert.*	0,69	61
Maíz SD s/fertilizar	0,58	65
Maíz SD c/fertilización.*	0,68	58
Avena SD s/fertilizac. (rastrajo a cosecha)	0,59	77
Avena muerta con herbic. en florac.	0,90	48

* Dosis aplicadas: 60-70 N/ha.

Fuente: Carlos Galarza (1994)

nutriente cae a 7-8 kg de grano/kg. de nitrógeno cubriendo sólo los costos, y mejorando levemente los niveles de proteínas en 0,5-0,8%.

Hacia el sudeste de la región pampeana, en cambio, las disponibilidades de agua para el cultivo mejoran notablemente en otoño e invierno por lo que el potencial de rendimiento y la respuesta al uso de fertilizantes es más segura y de mayor magnitud. En estos casos los diagnósticos de fertilización se basan en un *balance de los nutrientes* totales extraídos por la cosecha.

Respuesta del cultivo

Numerosos ensayos en los que se comparó, durante la década del 90, la respuesta del cultivo a la fertilización en *labranza reducida* con implementos de discos (LR) y *siembra directa* (SD) (Figura 1), demostraron que la fertilización en SD tiene mayores niveles de respuesta que en LR.

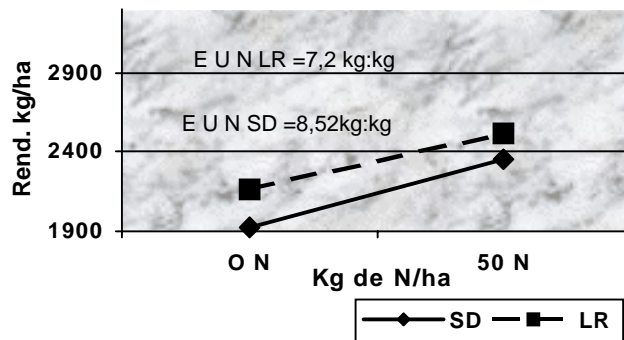


Figura 1:
Efecto del N en SD y LR

Debido a la menor fertilidad disponible, el trigo en SD sin fertilización rindió 12% menos que su similar en LR. Cuando la fertilidad nitrogenada se mejoró con 50 kg/ha de N la diferencia entre sistemas disminuyó a 7% mostrando SD y LR una eficiencia de uso del N aplicado (EUN), de 8,5 kg y de 7,2 kg de grano extra por kg de N respectivamente.

Esta eficiencia se mejoró al aplicar también 12 kg/ha de P_2O_5 (5,5 P/ha) como arrancador, localizado a la siembra, como puede apreciarse en las Figuras 2 y 3. En este caso los incrementos llegaron a 8,8 kg y 12,2 kg de grano por cada kg de nutriente ($N+P_2O_5$) aplicado, en LR y SD respectivamente. Con 80 kg de N/ha y (P) como arrancador se superó el 90% de los rendimientos potenciales pero las eficiencias de uso de esas dosis se acercaron a los costos, aumentando el riesgo económico de la práctica (Figura 3).

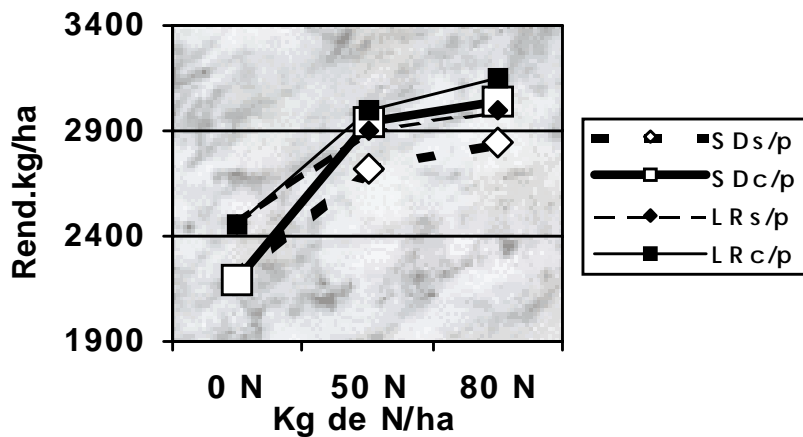


Figura 2. Efecto del N y P en SD y LR

Fuente: Galarza C., Gudelj V., Vallone P. y Nieri G. EEA INTA Ms.Jz.

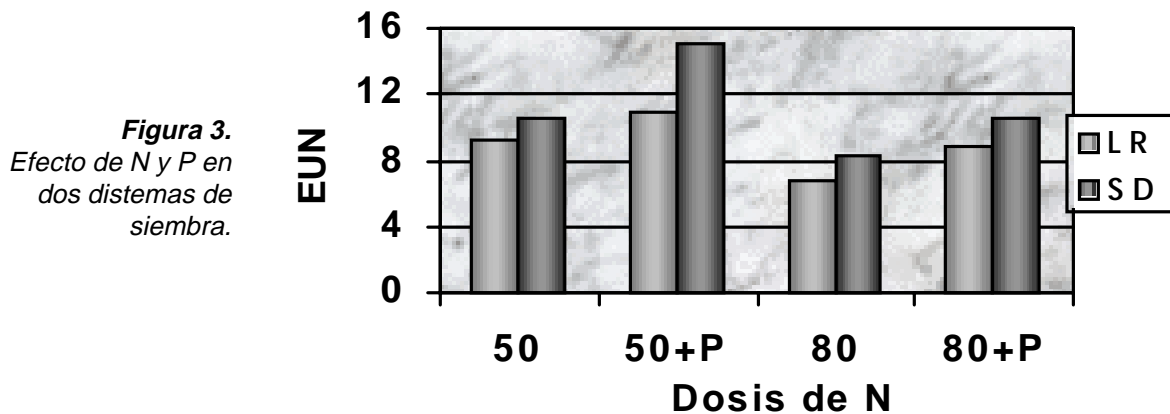


Figura 3. Efecto de N y P en dos sistemas de siembra.

Fuente: Galarza C., Gudelj V., Vallone P. y Nieri G. EEA INTA Ms.Jz.

Se aprecia en estos gráficos la clara interacción de NxP en SD que indica mayor dependencia del sistema por la fertilización. Los promedios de P extractable (Bray Kurtz) fueron de 24 y 22ppm en LR y SD respectivamente. Estos resultados apoyan la opinión de considerar el nivel crítico de respuesta en valores cercanos a 18 ppm en SD. Por último se aprecia que 30 kg/ha de N ó 25 kg de N complementado con P son suficientes para igualar los rendimientos testigo de LR mientras que con 50 kg/ha de N con P, SD iguala a LR con igual dosis.

El cultivo de trigo es uno de los que presentan más dificultades para lograr altos rendimientos en los primeros años de cultivo sin labranzas. Debido a la lentitud de implantación es más dependiente de la fertilización de arranque que los cultivos de verano. La dosis total de N, estimada como necesaria por los métodos de diagnósticos basados en el nivel de respuesta media del cultivo, deben ser incrementadas en 25 kg/ha para compensar la menor tasa de mineralización del suelo (Gudelj V., Galarza C., 1994).

En Marcos Juárez, en dos lotes con 8 y 9 años de S.D continua en comparación con labranza vertical con la misma secuencia de cultivos, se encontró que la respuesta a la fertilización es muy similar en ambos sistemas y que incluso, el rendimiento sin fertilizante fue mayor en SD en ambos lotes. Esto muestra el mejoramiento del suelo a largo plazo que consigue la SD.

Fuente de nitrógeno y momento de aplicación

El estudio de las precipitaciones durante el ciclo del trigo indica muy baja probabilidad de ocurrencia de lluvias durante el macollaje para nuestra región (Díaz R.1984). Por este motivo la aplicación de fertilizantes, al voleo y sin incorporación en ese periodo, puede quedar expuesta a importantes pérdidas gaseosas. En el Cuadro 3 se presentan, las eficiencias de urea aplicada a la siembra incorporada y al macollaje al voleo en tres ensayos realizados en el área central del Departamento Marcos Juárez.

Cuadro 3. Eficiencia de uso de 70 kg/ha de N (EUN) (kg grano extra por kg de N aplic.) en dos formas de aplicación. Trigo en SD.

ENSAYO	LOCALIDAD	EUN(siembra)	EUN(dividida)
1	Camilo Aldao	20,6:1	15,01
2	Monte Buey	5,1:1	3,0:1
3	Marcos Juárez	8,1:1	6,6:1

Gudelj V. Galarza C.(1996)

Mientras que los ensayos 1 y 2 ejemplifican dos situaciones extremas de respuesta condicionadas por el ambiente, el 3 representa muy bien el promedio.

La urea, debido a su característica de generar Amonio/Amoníaco al desdoblarse, está sujeta a las máximas pérdidas si no se produce una lluvia después de distribuida al voleo. Este fertilizante debería usarse siempre **incorporado** al suelo. Su localización antes o durante la siembra muestra, en nuestra localidad, casi siempre, una mejor eficiencia que la aplicación al voleo sin incorporar.

La aplicación de fertilizantes nitrogenados generadores de amonio, en forma localizada junto con la semilla, puede provocar fitotoxicidad durante la germinación, por lo que no deben superarse dosis de 20-25 kg de N/ha.

Otros fertilizantes nitrogenados como la solución de Urea y Nitrato de Amonio (UAN 30 % de N en peso) y el Nitrato de Amonio Cálculo (CAN 27 % de N) generan menor proporción de Amonio/Amoníaco al hidrolizarse. Además su fracción nitrato es suficientemente difusible para penetrar en el suelo con la humedad atmosférica y así quedar a disposición de las raíces (Melgar R.1995). Si se fertiliza a macollaje es aconsejable usar este tipo de fuentes.

Fertilización del maíz

Desde 1989, INTA Marcos Juárez evalúa distintos aspectos relacionados a la fertilización del maíz en los *primeros años de siembra directa continua* (SD) en nuestra región.

Al igual que en trigo los cultivos sin fertilizar rinden menos en SD. En siete ensayos analizados (Figura 4) se vio que el rendimiento testigo en labranza vertical (LV) fue de 5827 kg/ha, y por cada kg/ha de N aplicado se logran 12,2 kg/ha de grano extra hasta dosis de 100 kg/ha, mientras que en SD se parte de 4879 kg/ha y se incrementa el rendimiento a razón de 18,3 kg/ha/kg de N aplicado.

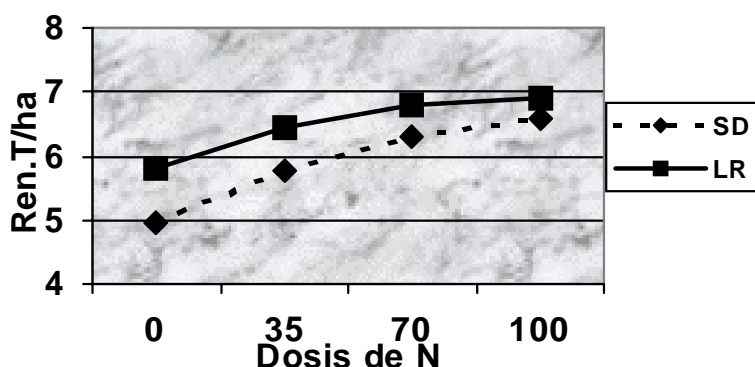


Figura 4.
Fertilización de
Maíz en SD y LR

Fuente: Galarza C., Gudelj V., Vallone P. y Nieri G. EEA. INTA. Ms. Jz

La peor eficiencia del N en SD se obtiene cuando se usa urea al voleo sin incorporar en V4-V6, y no llueve posteriormente. Si se incorpora con cuchillas su capacidad de incrementar el rendimiento aumenta considerablemente. Otras fuentes de N (UAN, CAN) incorporadas al suelo en ese momento, son igualmente efectivas que la urea, mientras que si ninguna se incorpora pueden superar la eficiencia de la urea.

Cuando se aplica una mezcla arrancadora con 20-25 kg/ha de N y 12-15 kg/ha de P_2O_5 (5,5-6,5 P) localizada (5cm debajo y al costado de la semilla), a la siembra y el resto de la dosis necesaria de N a 4-6 hojas, incorporada, se logran los mejores resultados físicos y económicos de la práctica.

Desde el punto de vista económico dosis mayores de P parecen ser necesarios sólo cuando los niveles del suelo son inferiores a 15 ppm de P extractable (Bray-Kurtz) o cuando el P no es incorporado.

Las aplicaciones de N a la siembra en la mezcla arrancadora, no deben superar los 25-kg/ha por el efecto fitotóxico de la urea. En aplicaciones localizadas es frecuente encontrar fallas debidas a que, pequeñas heterogeneidades de humedad del suelo hacen clavar menos las cuchillas aplicadoras y se acortan las distancias de separación a la semilla en suelo seco. Esto se evita distribuyendo muy bien los residuos de la cosecha del cultivo antecesor para que la humedad superficial del suelo sea homogénea.

En lotes con muchos años de agricultura convencional las condiciones físicas del suelo son más limitantes para la exploración radicular cuando se pasa al sistema de SD. Es necesario en estos casos usar N y P como fertilizante arrancador, localizado, independientemente del nivel de P determinado por análisis, para asegurar una buena implantación del cultivo.

Las dosis de N que maximizan el retorno económico pueden seguir siendo determinadas sobre la base de los parámetros más significativos en la respuesta del cultivo: N

disponible, cultivo antecesor, historia agrícola del lote, agua acumulada, y teniendo en cuenta que comparativamente con sistemas con labranzas, SD requiere de un adicional de unos 30 kg/ha para igualar los niveles de N disponibles a lo largo del ciclo en los primeros años de SD.

Fertilización de soja

Desde el punto de vista energético, lo producido por el cultivo de soja tiene igual o mayor valor biológico que los cereales a pesar de las diferencias en rendimiento (7-8 t/ha. de maíz, 3-4 t/ha. de trigo en invierno; contra 3-4 t/ha. de soja). Producir proteínas y aceites requiere mayor energía metabólica que producir carbohidratos.

La soja responde a un suelo fértil igual que cualquier otro cultivo y existen suficientes evidencias sobre la conveniencia económica de fertilizar soja. Cuantificando adecuadamente la oferta del suelo para una soja de alto potencial de rendimiento, la diferencia necesaria para llegar a su demanda teórica debería agregarse por fertilizantes.

Nitrógeno

Generalmente no hemos recomendado el uso de N en soja convencidos que este elemento produce efectos no deseados: inhibición de formación de nódulos y excesivo desarrollo vegetativo que favorece vuelco, enfermedades y hasta mayor evapotranspiración pudiendo ser, el agua, limitante en los momentos críticos del estado reproductivo. En realidad estos efectos se favorecen cuando el agregado de N se realiza en etapas vegetativas tempranas.

Si bien la fertilización nitrogenada de soja despierta numerosas controversias, muchos investigadores apuestan a la gran proyección que tendrá esta práctica en un futuro cercano, cuando se considere un balance de todo el **sistema agrícola** en el que deben entrar los cereales y las oleaginosas.

La soja se caracteriza por tener una elevada removilización de nutrientes desde estructuras vegetativas al grano. Andrade y col. en 1996 han determinado índices de cosecha de N de 65-70% llegando incluso a 78%.

En el Cuadro 4 se presentan las cantidades aproximadas de N, P₂O₅, K₂O, Mg, y S en la parte aérea de cultivos de soja para tres niveles de producción que dan idea de las demandas del cultivo.

Cuadro 4: Contenido de nutrientes principales en biomasa aérea de soja para producir tres niveles de rendimiento.

NUTRIENTE	2700 kg/ha	4000 kg/ha	5400 kg/ha
N	237	356	475
P ₂ O ₅	47	70	93
K ₂ O	104	156	208
Mg	20	30	40
S	19	28	36

Potash & Phosphate Institute, 1984.

Fósforo

En la región pampeana contamos con una alta proporción de lotes con algún grado de deficiencia de fósforo. Evaluaciones de Demmi et al. en 1992 en los departamentos del sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires detectaron un 34 por ciento de muestras con niveles menores a 15 ppm (B. y K.).

Su uso en el cultivo de soja aún no es generalizado posiblemente debido a la falta de respuestas espectaculares a su aplicación. Esto contrasta con la importancia que tiene este nutriente en el metabolismo de transferencia de energía a nivel celular. Su deficiencia causa restricciones en el crecimiento de las raíces y de la planta, limitando el potencial de rendimiento.

Normalmente se usa el valor de 10 ppm de fósforo extractable como umbral crítico para decidir la fertilización. En un análisis de 65 ensayos de fertilización con P, Melgar R. en 1996 detectó incrementos de 355; 214; y 34 kg/ha cuando se fertilizó la soja en suelos con niveles inferiores a 9ppm, de 10 a 14 y mayores de 15ppm, respectivamente. Casi todas esas experiencias fueron en labranza convencional por lo que en Siembra Directa pueden darse resultados algo mayores y el nivel crítico puede considerarse en 15ppm.

La forma de colocación del fertilizante tiene gran importancia en la eficiencia de uso de este nutriente. Según Fariña Nuñez (1997) si se aplica el fósforo en un volumen restringido del suelo, la disponibilidad de P para el sector considerado se incrementa en forma inversamente proporcional al volumen tratado. Los ensayos de este autor, conducidos por dos años, mostraron incrementos de rendimiento diferentes según la forma de aplicación (Cuadro 5).

Cuadro 5: Formas de aplicación de P y rendimiento de soja

FORMA DE APLICACIÓN	RENDIM.	INCREMENTO
TESTIGO	2712	—
VOLEO (100% del volumen)	2949	8,5%
FRANJA DE 30 CM (50% del volumen)	3065	13%
FRANJA DE 20 CM (30% del volumen)	3196	17,5
BANDA COSTADO (2,5% del vol.)	3222	19%
BANDA COSTADO ABAJO (2,5%vol)	3291	21,5%

Fuente: Jorge Fariña Nuñez (1997).

Azufre

En rotaciones agrícolas bajo Siembra Directa, gracias a la fertilización regular de las gramíneas con N y P se obtienen altas producciones. En estas situaciones la fertilización con azufre ha comenzado a mostrar un alto impacto en la producción de soja siguiendo a trigo, o como único cultivo.

Debido a la participación en proteínas estructurales de la planta es que su disponibilidad debe ser adecuada desde la germinación misma. La deficiencia de S en soja puede reducir la fotosíntesis al disminuir la síntesis de las enzimas que forman parte del aparato fotosintético. Se considera también que debido a la estrecha relación entre el metabolismo

del S y del N, las deficiencias del primero afectan la asimilación y concentración de N en las hojas.

El síntoma en deficiencias severas se presenta como colores verde pálido en hojas nuevas, ramilletes florales expuestos sobre la canopia por el pobre desarrollo de las hojas terminales y menor crecimiento de las plantas.

En numerosos ensayos conducidos en el centro sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba, fertilizando con S a la soja como único cultivo o al trigo que la precedía, se han obtenido resultados interesantes desde el punto de vista económico. En el Cuadro 6 se presentan resultados reportados por varios autores en diferentes situaciones de cultivo.

Cuadro 6: Respuestas obtenidas por el agregado de azufre, en algunas situaciones de cultivo de soja.

ESCENARIO	S APLICADO kg/ha	INCREMENTO qq/ha	REND. TEST. qq/ha
Efecto residual-Soja de 2ª (4 sitios: Cordone -Martinez.1996-98)	28	6,9	26
Efecto directo-Soja de 2ª (2 sitios: Cordone -Martinez1997-98)	21	6,8	36
Efecto directo-Soja de 1ª (Melgar-Lavandera 1997-8)	20	4,6	10
Efecto directo-Soja de 1ª (Scheiner-Gutiérrez Boem 1999)	10	2,0	35
(Efecto directo Soja de 1ª (Galarza-Gudelj-Vallone 1999)	17	2,6	26

Lamentablemente los análisis de suelos no son tan precisos para el azufre como lo son para indicar deficiencias de otros nutrientes. La información disponible hasta hoy considera que un nivel de 10 ppm de S de sulfatos sería indicativo de respuesta. Este nivel crítico no sería extrapolable a suelos con más materia orgánica como los del SE de Buenos Aires ya que valores de S de 5ppm no correlacionan con respuestas a su agregado.

Según Cordone y Martínez(1999) al mejorar el ambiente edáfico mediante la fertilización debe hacerse un cambio de las variedades sembradas para evitar excesivo crecimiento y vuelco. Según estos autores es conveniente el diagnóstico de fertilización de S en base al tipo de ambiente que presenta respuestas más frecuentes. Esos ambientes donde es más probable la respuesta se pueden considerar como sigue:

a) Ambientes degradados:

- Lotes erosionados con pérdida de horizonte A.
- Lotes con muchos años de agricultura y/o muchos años de soja.
- Lotes con niveles de MO mucho menores a su condición original.

b) Ambientes de buena productividad:

- Lotes con Siembra Directa.
- Lotes con altos rendimientos acumulados (con fertilizaciones de N y P).

Las recomendaciones más frecuentes tienden a aplicar el S en el cultivo de trigo para aprovechar en la soja el efecto residual. También pueden hacerse aplicaciones directas, debiendo usarse en estos casos las formas solubles.

En lotes menos degradados, o recuperados por 4 ó 5 años de pasturas leguminosas de alta calidad y ante igual fertilización de los cultivos, la SD continua tiene mejores eficiencias de uso de los insumos y el agua.

En el Cuadro 7 se presentan datos de una experiencia de los autores en un campo de producción donde un lote se somete a igual rotación pero diferentes sistemas de siembra desde 1986. La fertilización de los cultivos (sólo en gramíneas) se realizó con el criterio *de maximizar el retorno económico* de la práctica. Se usó en promedio 70 kg/ha de N y 6 kg/ha de P. Como puede apreciarse los rendimientos, sujetos a las variaciones climáticas propias de la región, son ampliamente satisfactorios presentando diferencias a favor de SD en el cultivo de maíz y similares rendimientos en soja y trigo.

Determinaciones periódicas de **materia orgánica** confirman que a pesar de los altos aportes de rastrojo, sus valores mantienen una tendencia **descendente** en los horizontes subsuperficiales. La evolución de las propiedades químicas del suelo y del balance de nutrientes estimado (Cuadro 8) indica que el aporte de nutrientes vía fertilizante hasta hoy fue insuficiente para las producciones obtenidas.

Este tipo de experiencias ha demostrado con el tiempo que no puede considerarse a ningún cultivo en forma aislada, como si fuera un sector de una empresa. La fertilización debe recomendarse en base a un **balance de entradas y salidas de nutrientes** más que en base a criterios exclusivamente económicos.

Sólo una **fertilización balanceada** va a ayudar a capitalizar el aporte de residuos de los cultivos y su incorporación como parte estable de la MO del suelo. Mientras la extracción de los cultivos sea mayor a los aportes de nutrientes externos el deterioro de los suelos continuará en forma proporcional a ese saldo negativo.

Cuadro 7: Rendimientos de cultivos en dos sistemas de siembra conservacionistas. Camilo Aldao Córdoba. Argentina

AÑO	CULTIVO	TIPO DE LABOREO EN LAB.COMBINADA	RENDIMIENTOS kg/ha LABR.COMBIN.	S. DIRECTA
1986/87	MAIZ	LABRANZA VERTICAL	5988	6349
1987/88	TRIGO/SOJA	LABRANZA MINIMA	3983	3524
		SIEMBRA DIRECTA	2870	3050
1988/89	SOJA	LABRANZA VERTICAL	2823	2850
1989/90	MAIZ	SIEMBRA DIRECTA	2890	3646
1990/91	TRIGO/SOJA	LABRANZA MINIMA	3951	4720
		SIEMBRA DIRECTA	1994	2317
1991/92	MAIZ	SIEMBRA DIRECTA	7996	8525
1992/93	TRIGO/SOJA	LABRANZA MINIMA	4516	4085
		SIEMBRA DIRECTA	3293	3183
1993/94	SOJA	SIEMBRA DIRECTA	3089	3177
1994/95	TRIGO/SOJA	LABRANZA MINIMA	2061	2215
		SIEMBRA DIRECTA	2454	1959
1995/96	MAIZ	SIEMBRA DIRECTA	9463	10388
1996/97	TRIGO/SOJA	LABRANZA VERTICAL	2426	2770
		SIEMBRA DIRECTA	2820	3243

Gudelj V., Galarza C., Vallone P., Nieri G.: XVII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo. Mar del Plata 2000

Cuadro 8: Balance de nitrógeno y fósforo. Estimación 1986-1996.*

GRANO	PRODUCIDO (toneladas totales/ha)		DEMANDA DE NITROGENO			DEMANDA DE FOSFORO		
	LC	SD	kg N/Tn grano	TOTAL		Kg P/Tn grano	TOTAL	
	LC	SD	SD	LC		LC	SD	
MAIZ	26,3	28,9	17	447	491	3	79	87
TRIGO	16,9	17,3	20	338	346	3,5	59	61
SOJA	19,3	19,8	—	—	—	6	116	119
NECESIDADES TOTALES				785	837		254	268
APORTES POR FERT.				465	557		42	42
DEFICIT				319	280		212	226

Para la realización de esta aproximación de balance se consideró que las necesidades de N de la soja se satisfacen por fijación simbiótica.

Literatura citada y consultada

- ANDRADE, F.; ECHEVERRÍA, H.; GONZÁLEZ, N.; UHART, S. 1996: Requerimientos de N y P en cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico N° 134 EEA INTA Balcarce.
- ARCE, E. y DÍAZ, R. 1996. El clima de Marcos Juárez. Informe para extensión N° 30 EEA INTA Marcos Juárez.
- BONEL, J.; PURICELLI, C.; CABRINI, E.; WEIR, E. 1980. "Influencia de la alfalfa sobre la fertilidad nitrogenada del suelo en la pampa húmeda". Hoja Informativa N°41. EERA INTA Marcos Juárez. Febrero.
- BUNDY, L.G. and OPLINGER, E. S. 1984. Narrow row spacing increase soybean yields and nutrient removal. Better Crops Plant Food, v68, p16-17.
- DEMMI, M. ET AL. 1992. Niveles disponibles de fósforo en suelos agrícolas del sur de Santa F. Informe para extensión N° 61. EEA INTA Oliveros.
- DÍAZ, R. 1984. Pronóstico climático de las lluvias en el área de la EEA Marcos Juárez Informe para Extensión N°5 Serie Suelos y Producción Vegetal.
- ECHEVERRÍA, H. 1994. "Los fertilizantes en la agricultura sustentable". Actas Encuentro de profesionales hacia una agricultura sostenible. INTA PAC II. Rosario. Octubre.
- EMBRAPA- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. 1998. Recomendações para a cultura da soja na regio central do Brasil. CNPSo. Londrina.
- FARIÑA NUÑEZ, J. 1997. La importancia de la ubicación del fertilizante. Proyecto Fertilizar. INTA Número 8, Setiembre.
- FLANNERY, R.L. 1986. Plant food uptake in a maximun yield soybean study. Better Crops Plant Food. Fall 1986:PPI, v 70, p6-7.
- FOX, R.; PIEKIELEK, W. 1994. "Fluids shine in ammonia volatilization comparisons". Fluids Journal. Vol.2 N°2. Penn. Spring.

- GAMBAUDO, S.; FONTANETTO, H.; KELLER, O. "Siembra Directa de Trigo: Fuentes de fertilizante nitrogenado". Información para extensión N°159. EEA INTA Rafaela. Agosto. 1993.
- GALARZA, C. 1996. "Cultivo de Trigo en Siembra Directa". Curso de Siembra Directa. EEA INTA Marcos Juárez. Octubre.
- _____. "Cultivos de cobertura en Marcos Juárez". Proyecto de Cultivos sin labranzas
- _____; GUDELJ, V.; VALLONE, P.; NIERI, G. 1998. "Siembra Directa". Ed. Hemisferio Sur-INTA-SAGPyA.(215-221). 1ªEdición.
- GUDELJ, V.; GALARZA, C.; VALLONE, P.; NOVELLO, P. 1996. "Labranzas para Trigo". Actualización técnica para el cultivo de Trigo. EEA INTA Marcos Juárez. Mayo.
- _____; GALARZA, C.; VALLONE, P.; NIERI, G. 1996. "Híbridos de maíz en Siembra Directa y Labranza Vertical". Informe técnico N°118 y actualización en Hoja Informativa N°304.EEA INTA Marcos Juárez. Agosto.
- _____; GALARZA, C.; VALLONE, P.; NIERI G. 2000. Comparación de lotes en producción agrícola manejados con diferentes alternativas conservacionistas. Actas.XVII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo. Mar del Plata Abril.
- _____; GALARZA, C.; VALLONE, P.; NIERI, G. 1997. "Once años comparando sistemas de siembra". Boletín informativo 41 AAPRESID Año 7. Diciembre.
- MARELLI, H. 1994. "La Siembra Directa como alternativa conservacionista". Actas de Jornada de actualización del cultivo de Soja. Justiniano Posse.
- MELGAR, R. 1998. Azufre en Soja, qué opciones tenemos?. Proyecto Fertilizar. INTA, Número 13 Dic.
- NOVELLO, P.; GALARZA, C.; GUDELJ, V. 1995. "Fertilización en Maíz" Hoja Informativa N°295. EEA INTA Marcos Juárez. Setiembre.
- POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE. 1984."Taking and analyzing plant samples" In: The diagnostic approach to maximum economic yields. Better Crops. Spring 1984.
- PRIETO, G. ET AL. 1999. Fertilización Fosfatada del Cultivo de Soja en el Sudeste de Santa Fe. Informaciones Agronómicas del cono Sur. PPIC. N° 3 Sep.
- TANAKA, R. y MASCARENHAS, A. 1993. Nutrição mineral da soja. In: Arantes N. E Souza. Cultura da Soja nos Cerrados. POTAFOS. p 105-135.
- THOMAS, G. 1990. "Siembra Directa: Resultados en USA y Observaciones en campos argentinos". Conferencia dictada en Bolsa de Cereales de Rosario. Enero.
- TOMBETTA, E.; CUNIVERTI, M. 1993. "Calidad de Trigo". Información para técnicos y especialistas. SAGyP.

Uso de abonos verdes y rotación de cultivos en el sistema de siembra directa*

por Ademir Calegari**

Introducción

Después de la 2ª Guerra Mundial la intensa utilización de los “insumos modernos” hizo que el uso de prácticas orgánicas quedara casi olvidado. La posibilidad del inmediato suministro de diferentes nutrientes al suelo y consecuente aprovechamiento por parte de los cultivos, junto con la facilidad de manipulación y aplicación, fueron determinantes para el comportamiento de los productores. Por otro lado, con el uso de los abonos verdes, a pesar de aportar sólo nitrógeno del exterior (fijado biológicamente por las bacterias que viven en los nódulos de las raíces de las leguminosas), se tiene la capacidad, al mismo tiempo, de promover el reciclaje de varios nutrientes en el perfil del suelo que quedarán disponibles para los siguientes cultivos. Las evidencias científicas y la comprobación por parte de los productores muestran que la utilización de esta práctica proporciona beneficios a los distintos sistemas agrícolas a lo largo de los años.

El empleo de las plantas mejoradoras de las características del suelo fue comprobado por los chinos, griegos y romanos, antes de la era cristiana. Recién hace 70 años, fue posible, a través del trabajo de Beijerinck, aislar las bacterias fijadoras de nitrógeno que viven en los nódulos de las raíces de las leguminosas y así comprobar por la ciencia, lo que se conocía hace milenios empíricamente.

La experiencia del viejo mundo ha mostrado que la abundancia de recursos naturales lleva los individuos a acciones inmediatistas. Por lo contrario, la escasez de recursos, estimula la iniciativa de racionalidad económica y de preocupación con la previsibilidad, o sea, acciones responsables de conservación ambiental tanto en el presente como en el futuro.

Después de un avance muy rápido en el manejo intensivo del suelo en el sur de Brasil, ocurrieron al mismo tiempo elevadas pérdidas de suelos y disminución del potencial productivo de los mismos. Sin embargo, afortunadamente hubo un cambio bastante significativo en los últimos años, principalmente a través de los resultados relevantes de la investigación, conjuntamente con los trabajos de la extensión rural aliados a la osadía de muchos agricultores en la adopción de nuevas prácticas de manejo y conservación de suelos. Hay una creciente preocupación por parte de la mayoría de los agricultores en la búsqueda de un adecuado planeamiento global de uso del suelo, incluyendo el mantenimiento y/o recuperación de los niveles de fertilidad, el equilibrio de la materia orgánica y la preservación de los recursos naturales. Las prácticas de uso de diferentes especies de abonos verdes, cobertura muerta, rotación de cultivos y el sistema de **siembra directa** son básicos en la estructura de un manejo racional y sostenible principalmente en las áreas de cultivos anuales.

* Trabajo presentado en el Curso de Siembra Directa en Pequeñas Propiedades, Bella Vista, 12-14 de Octubre, 1999, Paraguay.

** Ing. Agr., MSc, Investigador en suelos, IAPAR, Londrina, Paraná, Brasil. Tel: 005543376 - 2458. E-mail: asoiapar@pr.gov.br

Manejo de suelos en los trópicos con el uso de residuos orgánicos

Las condiciones favorables que la materia orgánica proporciona al suelo llevan a una activación de los organismos vivos en el perfil, como las lombrices, artrópodos, y microorganismos que actúan intensamente en la mineralización de los diferentes nutrientes que están formando los compuestos orgánicos en el suelo. La estructuración de las partículas se beneficia por la acción de la fauna, que contribuye a una mejora en la estabilidad de los agregados en agua a través de las secreciones de diversos microorganismos, así como el aumento en el volumen de macroporos por la acción de lombrices y hormigas (Derpsch et al., 1991).

Además de estos factores, también la aireación, relación (C:N, C:P, C:S) contenidos de lignina, y pH del suelo son determinantes en el sentido de acelerar o no el proceso de degradación de la materia orgánica.

La materia orgánica está formada en los suelos agrícolas principalmente por los residuos de los abonos verdes cultivados, rastrojos de cultivos comerciales, masa vegetal formada por malezas, y residuos animales aplicados o acumulados en el suelo, etc. La dinámica de la descomposición de los residuos vegetales ocurre principalmente en función de sus diferentes componentes constituyentes. El proceso comienza con una rápida descomposición de los compuestos más simples (azúcares, proteínas, amilosa y celulosa) mientras que otras fracciones más complejas son más resistentes a la degradación (ceras, grasas, lignina). También la disponibilidad de nutrientes minerales, pH, temperatura, humedad, aireación, manejo del suelo y presencia de compuestos antimicrobianos, ejercen importante influencia en la dinámica de la descomposición de la materia orgánica del suelo (Siqueira & Franco, 1988).

En general los agroecosistemas tropicales ofrecen normalmente mayores opciones en cuanto a ofertas de residuos orgánicos y comparados a las condiciones del tiempo. En los trópicos, principalmente en el trópico húmedo, hay una mayor diversidad de agroecosistemas. Además de cultivos anuales continuos, hay también áreas de barbecho (descanso) temporario, plantas mejoradoras de suelos (abonos verdes), sistemas de cultivos intercalados (café x leucaena, café x ingá, o cacao x erythrina) y cultivos en alley - cropping (leucaena x maíz mandioca, frijol, maní, arroz, etc.). Comprobaciones demuestran que algunas plantas crecen en suelos ácidos tropicales, y poseen mayor porcentaje de compuestos secundarios (polifenoles) que los suelos neutros. Estos compuestos secundarios pueden afectar la descomposición y liberación de los nutrientes y por supuesto, interfiriendo también en el proceso de acumulación/formación de la materia orgánica del suelo.

La única opción para mantener y/o restaurar la fertilidad de muchas áreas en los trópicos es el empleo de residuos orgánicos (vegetales, animales).

Generalmente en sistemas naturales, la mineralización de los nutrientes de la materia orgánica y el consecuente aprovechamiento por los cultivos ocurre sincronizadamente, resultando un uso eficiente de los nutrientes. En los diferentes agroecosistemas, o sea, en las áreas cultivadas, los procesos de liberación y absorción de nutrientes muchas veces ocurren separadamente en el tiempo, resultando una baja eficiencia en el uso de los nutrientes. Esto es bastante común con el nitrógeno, donde pueden ocurrir pérdidas por lixiviación, denitrificación y volatilización del amoníaco.

Para un eficiente manejo en los agroecosistemas tropicales, principalmente áreas ocupadas por pequeñas fincas es fundamental el entendimiento de todos los procesos que controlan el proceso de descomposición y mineralización de los nutrientes provenientes de los residuos orgánicos.

Efectos de los organismos en el suelo

De acuerdo a Voss, 1987, la mayor parte de la descomposición de la materia orgánica en el suelo es realizada por la microflora. Alrededor de 50 tipos de enzimas fueron detectadas como activas en el suelo. Concluye en que alrededor del 70 por ciento del carbono que entra en la atmósfera como CO₂ es proveniente del metabolismo microbiano. Además de esto, la micro, meso y macrofauna del suelo actúan de diferentes formas en el proceso dinámico de descomposición de la materia orgánica.

Estudios realizados por Calegari et al., 1995, en el norte de Paraná en diferentes sistemas de manejo de suelos y cultivos después de siete años mostró que hubo una mayor actividad biológica, evaluada indirectamente a través de la liberación de CO₂, en los tratamientos con siembra directa. La sucesión trigo-soja en laboreo convencional (1 arada y 2 rastras) fue el tratamiento que presentó las menores pérdidas de CO₂ para la atmósfera, demostrando ser, entre los sistemas testados el que menos acumula materia orgánica y también incide en el incremento de la vida biológica en el suelo (Cuadro 1).

Por los resultados observados se comprobó que hubo una mayor actividad biológica en el sistema de siembra directa, seguramente por las favorables condiciones ambientales que intensificaron las actividades microbianas en el suelo.

Cuadro 1. Actividad microbiana en el suelo (mg.CO₂/g.suelo) en diferentes sistemas después de siete años de cultivo (0-20 cm profundidad). Promedio de 03 repeticiones. Hacienda Santo Antonio. Floresta, Paraná, Brasil, 1993.

Tratamientos	Sistema de cultivo	Liberación del CO ₂	
Trigo/soja/trigo/soja	Laboreo Convencional	147,70	A
Trigo/maíz/avena/soja	Siembra directa	225,30	AB
Lupino/maíz/avena/soja/ trigo/soja	Siembra directa	243,02	AB
Trigo soja/trigo/soja	Siembra directa	300,22	B
Trigo/maíz/avena+lupino/soja	Siembra directa	307,23	B

Fuente: Calegari et al., 1995.

El carbono incorporado al suelo en un primer momento va hacer parte de la biomasa microbiana, pasando enseguida para la fracción lábil de la materia orgánica del suelo, y finalmente para la formación de complejos polimerizados, estabilidad física y/o química en los estados más avanzados del carbono. El humus en el suelo, además de ser un componente de la fase sólida, como coloide orgánico, presenta efectos muy valiosos y mejoradores de las características físicas, químicas, físico-químicas y biológicas del suelo.

Abono verde como componente en los sistemas agrícolas

Los abonos verdes contribuyen a la protección superficial así como al mantenimiento y/o mejorías de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, incluyendo profundidades significativas a través de las raíces de las plantas (Calegari & Peñalva, 1994).

Para obtener un logro con los abonos verdes, es necesario conocer todos los detalles y también los aspectos del sitio donde serán sembrados (condiciones edafoclimáticas

específicas: presencia o no de malezas, enfermedades, nemátodos, capa compacta, acidez y/o presencia de aluminio, etc.), así como los objetivos buscados, o sea, si el cultivo del abono verde proporciona aporte de nitrógeno, ciclaje/reciclaje de nutrientes, aumento de materia orgánica en el suelo, etc..

La diversidad de especies de plantas a ser utilizadas como abonos verdes, así como sus mezclas deberán ser criteriosamente testadas, evaluadas y validadas previamente por los productores en sus fincas.

Por este motivo, es fundamental elegir plantas que sean adaptables a las diferentes condiciones edafoclimáticas, que sean manejadas adecuadamente y que presenten ventajas cuando son conducidas en equilibrados sistemas de rotación de cultivos.

Formas de utilización de los abonos verdes

De acuerdo a los objetivos buscados, así como a los variables sistemas productivos, las plantas de cobertura podrán ser empleadas de distintas formas:

- Abonos verdes exclusivos de primavera/verano;
- Abonos verdes exclusivos de otoño/invierno;
- Abonos verdes asociados a cultivos anuales;
- Abonos verdes intercalados a cultivos perennes;
- Abonos verdes en franjas;
- Abonos verdes en áreas de barbecho.

a. Abonos verdes exclusivos de primavera/verano

Este sistema consiste en la siembra de las distintas especies en el período de setiembre hasta noviembre, presentando un importante y vigoroso crecimiento durante el verano. La elevada capacidad de reciclaje de nutrientes y el gran aporte y suministro de nitrógeno (en el caso de las leguminosas), la elevada producción de biomasa vegetal y el cúmulo de materia seca son las principales ventajas de esta modalidad de abonos verdes. Además de esto, en caso de ocurrir elevadas precipitaciones en este período, los suelos están protegidos de los efectos de la erosión hídrica. Este sistema de cultivo exclusivo de abonos verdes en el verano es recomendable cuando hay un importante cultivo comercial a ser sembrado sobre estos rastrojos, o cuando los suelos están muy degradados y por lo tanto pueden ser recuperados más intensivamente; seguidos también de abonos verdes de invierno. Es siempre recomendable que se roten las áreas, o sea, distintas especies de abonos verdes (diferentes familias) deben normalmente ocupar diferentes áreas del predio. Una de las desventajas de este sistema es que el abono verde ocupa un área que podría estar siendo utilizada con cultivo comercial (con excepción de algunas especies que pueden ocupar las épocas de entre zafra).

b. Abonos verdes exclusivos de otoño/invierno

En esta modalidad las especies son sembradas preferentemente en el período de febrero hasta abril pudiendo ser sembradas hasta mayo. Este sistema de cultivo presenta grandes ventajas: efectivo control de la erosión, disminución de la infección de malezas, reducción de las pérdidas de nutrientes por lixiviación, protección de áreas sin cultivo (barbecho), producción de elevada cobertura muerta (mulch), aporte de nitrógeno al sistema (leguminosas), posibilidad de empleo de especies que presenten potencial de uso forrajero en la alimentación animal. Así, las distintas especies están de acuerdo a las necesidades y exigencias de los cultivos posteriores.

c. Abonos verdes asociados a cultivos anuales

En este sistema de abonos verdes en asociación con cultivos anuales el arreglo de las diferentes plantas debe ser criterioso para que no haya competencia con el cultivo comercial, y por supuesto interferencia en la productividad. Esto en general, puede ser observado principalmente en períodos de déficit hídrico en el suelo coincidente con la fase crítica de necesidad de agua en el cultivo.

El maíz es uno de los cultivos más comunes en el uso de los abonos verdes asociados. Puede ser empleado el guandú, frijol de cerdo, caupí, mucunas (enana, ceniza), *Crotalaria juncea*, estilosantes, girasol, poroto mungo, poroto arroz, etc., preferentemente sembrados aproximadamente a los 60 días después de la siembra del maíz. En algunos casos, se puede sembrar, entre las hileras de maíz, el abono verde- *Crotalaria juncea* o guandú, con la misma sembradora, a los 20-30 cm de altura del maíz; en este caso se puede cosechar manualmente o mecánicamente (cosechadora mecánica sin ningún problema). Así, el abono verde continuará creciendo después de la cosecha del maíz, pudiendo manejar con rollo-cuchillo, rotativa, tritón, etc., y en caso necesario herbicidas para después hacer una nueva siembra.

Con esta asociación (abonos verdes x cultivo comercial), son potencializados: la utilización intensiva del recurso natural suelo, mejor y mayor aprovechamiento de los nutrientes del suelo (reciclaje, fijación al mismo tiempo en que el cultivo principal esté en desarrollo) el eficiente control de la erosión, reducción de malezas, disminución de las amplitudes térmicas en la superficie del suelo, disminución de las poblaciones de nemátodos, descompactación del suelo (efecto de raíces: por ej. guandú), promoción de la actividad biológica y desarrollo vegetal.

d. Abonos verdes intercalados a cultivos perennes

En este sistema los abonos verdes son sembrados intercaladamente a los cultivos perennes (cítricos, mangos, durazneros, manzanos, viñedos, membrillos, perales, etc.). Las especies deben ser sembradas de forma que no compitan por agua, luz y nutrientes a punto de perjudicar los cultivos perennes, o que suban en las plantas perennes interfiriendo en su desarrollo.

Entre las ventajas de este sistema pueden ser destacadas la efectiva cobertura protectora y mejoradora de la superficie, que llevará con los años de uso a: aumento de la infiltración de agua por la favorable estructuración (agregación, porosidad, permeabilidad, mayor distribución de poros capilares continuos, mejor aireación, etc.); mayor reciclaje de nutrientes en el perfil del suelo; y disminución de infestación de malezas. Por efecto del "mulch" en la superficie, hay una reducción de las pérdidas de nutrientes y suelo por la erosión hídrica; por el acúmulo de la materia orgánica fresca y también el humus en la superficie, hay un incentivo a la proliferación de la flora y fauna (macro, meso y microorganismos).

e. Abonos verdes en franjas

En esta modalidad son sembrados los abonos verdes en franjas con el objetivo de proteger y mejorar las características del suelo y en los intervalos de las franjas se implantan los cultivos comerciales. En los años siguientes se pueden ir cambiando las áreas y así ir siempre recuperando y/o mejorando la fertilidad del suelo. Es un sistema interesante por impedir el escurrimiento superficial y también por hacer posible al mismo tiempo cultivos comerciales y recuperadores de suelo (espacialmente separados).

f. *Abonos verdes en áreas de barbecho*

Estas plantas son empleadas en áreas degradadas con el objetivo de la recuperación del potencial productivo de los suelos. Se pueden emplear abonos verdes de primavera/verano u otoño/invierno (anuales y/o perennes) que preferentemente deben presentar resiembra natural, favoreciendo así la persistencia de los abonos verdes, que además de controlar las malezas, irán agregando material orgánico y mejorando los aspectos físicos, químicos y biológicos. Una vez mejorado el suelo (2 - 4 años), cuando se ha alcanzado un cierto nivel de equilibrio entre los aspectos físicos, químicos y biológicos, es posible volver a hacer nuevamente cultivos comerciales.

La cantidad de años necesarios con abonos verdes en áreas de barbecho está de acuerdo al grado de degradación del potencial productivo del suelo, o sea el tiempo suficiente para que el suelo pueda presentar recuperación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Así, es recomendable el empleo de especies de abonos verdes lo más rústicas posibles, preferentemente que tengan potencial de resiembra natural (por ej.: vicia peluda, serradela, lupino amarillo, avena negra, centeno, raygrás, crotalaria juncea, guandú y mucuna ceniza), disminuyendo la necesidad de siembra en cada estación. El barbecho quedará enriquecido por la presencia de los abonos verdes, principalmente por la cantidad producida de fitomasa vegetal, así como también con el aporte de nitrógeno al sistema, además de los efectos de las raíces en el perfil y el incremento de la biología del suelo por la constante adición de materia orgánica. Conforme el suelo se va mejorando pueden ser sembrados también tréboles (rojo, blanco, etc.), lotus, etc., que ayudan en la recomposición de las características del suelo.

Después de un determinado tiempo en recuperación, el suelo queda con su fertilidad regenerada, y así nuevamente puede ser aprovechado en el sistema productivo.

Con el uso de los distintos abonos verdes se puede conocer cuantos kilogramos de un determinado nutriente equivale al reciclaje realizado por el abono verde teniendo en cuenta la fitomasa producida y el porcentaje del nutriente que contiene la misma, determinado por análisis foliares (Cuadro 2).

Los nutrientes dejados por los abonos verdes a los cultivos posteriores pueden ser aprovechados en cantidades variables según los siguientes factores:

- Especie de abono verde,
- Tiempo de descomposición,
- Temperatura,
- Humedad del suelo,
- Precipitaciones,
- Manejo del suelo,
- Fertilidad del suelo (aspectos químicos, físicos y biológicos), y
- Tipo de cultivo.

Los valores presentados demuestran el gran potencial que tienen los distintos abonos verdes en dejar en la primer capa del perfil del suelo variables cantidades de nutrientes que podrían ser absorbidos por las raíces de los cultivos posteriores. Además de estos nutrientes, uno de los más significativos aportes de las plantas para el suelo son los compuestos de carbono orgánico, o sea la materia orgánica, que será responsable de la mayor parte de las interacciones y reacciones químicas, físicas y biológicas en el sistema suelo-agua-planta.

La información muestra la importancia del uso de los abonos verdes en el reciclaje de nutrientes que en consecuencia podrá llevar a una disminución del uso de fertilizantes,

Cuadro 2. Producción de materia verde (M.V.), materia seca (M.S.) y contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (% de la M.S.) de algunas especies.*

ESPECIES	M.V. (t/ha)	M.S. (t/ha)	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
avena negra	15 - 40	2 - 11	0.70 - 1.68	0.14 - 0.42	1.08 - 3.08
centeno	30 - 35	4 - 8	0.58 - 0.66	0.16 - 0.29	0.75 - 1.45
vicia peluda	20 - 37	3 - 5	2.51 - 4.36	0.25 - 0.41	2.41 - 4.26
vicia común	20 - 30	3 - 5	2.74 - 3.47	0.27 - 0.38	2.33 - 2.56
arveja forrajera	15 - 40	2.5 - 7	1.77 - 3.36	0.14 - 0.41	0.67 - 3.31
nabo forrajero	20 - 65	3 - 9	0.92 - 1.37	0.18 - 0.33	2.02 - 2.65
lupino blanco	30 - 40	3.5 - 5	1.22 - 1.97	0.25 - 0.29	1.00 - 1.77
lupino azul	25 - 40	3 - 6	0.85 - 2.15	0.12 - 0.29	1.36 - 1.49
avena/vicia	15 - 50	2 - 10.5	0.93 - 1.39	0.15 - 0.16	1.23 - 1.47
milheto	11 - 90	3.5 - 21	0.34 - 1.46	0.13 - 0.29	1.05 - 3.12
caupí	20 - 33	2.5 - 5.7	1.67 - 2.22	0.25 - 0.50	1.82 - 2.77
girasol	20 - 46	4 - 8	1.08	0.21	2.64
crotalaria juncea	15 - 35	2.5 - 8.5	1.42 - 1.65	0.19 - 0.21	0.96 - 1.38
mucuna ceniza	10 - 25	2 - 5	1.56 - 2.43	0.46 - 0.57	1.00 - 1.55
guandú enano	10 - 22	2 - 6.5	1.02 - 2.04	0.21 - 0.28	0.92 - 1.47
milheto/caupí	19 - 40	3.5 - 10	0.61 - 0.82	0.13 - 0.17	1.08 - 1.12

- Los valores de fitomasa y concentración de nutrientes varían de acuerdo a las condiciones de crecimiento (suelo y clima). Los resultados analíticos fueron elaborados en la DSA-MGAP (Dirección de Suelos y Aguas del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Montevideo).

Fuente: adaptado de Peñalva 1995; Calegari & Peñalva, 1995.

bajando así los costos de producción. Dicho manejo también disminuirá los riesgos de pérdidas de algunos nutrientes por escurrimiento superficial con el agua de lluvia, lixiviación, volatilización y también los riesgos de contaminación de fuentes de aguas superficiales (tajamares, represas, arroyos, etc.) y aguas profundas (napas freáticas) que representan una amenaza para los recursos naturales y así elevados riesgos en el mantenimiento de la sustentabilidad de los sistemas (equilibrio ambiental).

Efectos sobre enfermedades y plagas

Muchas especies de abonos verdes son cultivadas con el objetivo de minimizar la incidencia de los efectos perjudiciales de las plagas y de las enfermedades en los cultivos. Hay también otras especies de abonos verdes que sus exudados radiculares o los ácidos orgánicos de sus tejidos tienen efecto nematicida en el suelo.

Trabajos realizados en Londrina, Paraná, Brasil por Kryzanowski & Calegari, 1997, (datos no publicados) han mostrado que la moha (*Setaria italica* L.) es una especie que ha demostrado buenos resultados en el campo, no multiplicando nemátodos (*Meloydogine incognita*), y siendo una nueva opción para rotación de cultivos. Además de esto, es posible encontrar un gran número de nemátodos (huevos y larvas) en los tejidos de algunas especies de plantas, siendo posible que éstas, en la descomposición en el suelo liberen diferentes ácidos y sustancias aleloquímicas de los tejidos y raíces que

han influenciado en los nemátodos. En este caso también especies como el gandúl (*Cajanus cajan*), maní caballo (*Arachis hypogaea*), *Leucaena leucocephala*, mijo (*Pennisetum americanum*), *Pennisetum atropurpureum* (capim elefante) y también la *Brachiaria plantaginea* y otras gramíneas usadas como pastura son bastante eficientes en la disminución de las poblaciones de nemátodos del suelo, además de otros hongos de suelo. Los residuos vegetales acumulados en el suelo, o sea el aumento en los niveles de materia orgánica incrementan la actividad biológica, aumentando el número y las especies de organismos, lo que lleva normalmente a un mayor equilibrio natural, impidiendo que ocurra una predominancia de determinada especie de organismo sobre otro, y así en algún momento resultar en perjuicio para determinado cultivo.

Santos et al., 1990, en el Sur del Brasil (Rio Grande do Sul) testando diferentes abonos verdes de invierno, concluyó que la *Avena strigosa*, *Ornithopus*, Vicia, Lupino, Lino y la *Brassica*, fueran los materiales que se destacaron en el control del hongo *Ophiobolus* sp. (hongo que se desarrolla en áreas con pH elevado y causa problemas para el trigo). La Avena negra ha sido muy eficiente empleada en rotación, o sea, sustituyendo el trigo por 1 año es suficiente para disminuir el hongo en el suelo.

También en regiones donde hay hongos causadores de las pudriciones radiculares (*B. sorokiniana* y *Gaeumannomyces graminis var. tritici*), es fundamental el uso de la rotación de cultivos, siendo la avena y el centeno más resistentes a la pudrición común que el trigo y la cebada. Sin embargo los rastros del centeno en el suelo fueron los que más multiplicaron el hongo. El triticale presentó una reacción intermedia a los grados de infección (Reis y Baier, 1983a, 1983b).

En las áreas con elevadas poblaciones de nemátodos que son perjudiciales para las plantas, también algunos abonos verdes en rotación han resultado una herramienta importante para bajar los niveles de infección de estos organismos que pueden provocar severos daños al desarrollo y rendimiento de los cultivos. Sharma; Pereira & Resck, 1982; Santos & Ruano, 1987, han mostrado que el uso adecuado de distintas especies de abonos verdes pueden constituir uno de los métodos más eficientes y de más bajo costo en el control de los nemátodos, además de otros importantes beneficios.

De acuerdo a Santos & Ruano, 1987, las crotalarias, mucunas, guandú, alfalfa, *Ornithopus sativus*, *Spergula arvensis* y las gramíneas avena, centeno, raygrás y cebada son las que presentan mejores efectos en el control poblacional de nemátodos (*Meloidogyne incognita* raza 3 y *Meloidogyne javanica*).

Las avenas, por ejemplo, además de promover mejoras en los atributos físicos, alteran también los atributos biológicos, disminuyendo la población de nemátodos (género *Meloidogyne*) y también hongos de suelo como es el caso de *Fusarium*, *Rhizoctonia*, etc. Varios estudios en Paraná, Brasil, demuestran que la avena negra (*Avena strigosa*) presenta un importante papel en la rotación de cultivos, mejorando la sanidad del suelo. La soja, por ejemplo, cuando es sembrada después de avena, es menos afectada por *Rhizoctonia* y *Sclerotinia*; y también el trigo es menos afectado por enfermedades de las raíces (Santos et al., 1990). Resultados obtenidos por Santos & Ruano, 1987, muestran también que otras especies como el centeno, raigrás, cebada, alfalfa, serradela y espérgula (otoño/invierno) y crotalarias, mucunas y guandú (primavera/verano), presentan buenos efectos en el control poblacional de nemátodos (*Meloidogyne incognita* raza 3 y *Meloidogyne javanica*). También las poblaciones del nemátodo *Meloidogyne incognita* pueden ser reducidas con el empleo de trébol rojo (Quesenberry et al., 1989).

La rotación de cultivos con plantas de diferentes familias es una de las importantes formas de disminuir los efectos de las plagas y enfermedades, principalmente por la destrucción del hábitat e interrupción del ciclo de esos organismos en el suelo.

Es conveniente seleccionar el cultivo de plantas que favorezcan el crecimiento de la mayor diversidad posible de organismos, entre los cuales están los enemigos naturales,

o sea, los insectos y organismos benéficos. Así, las plantas ofrecen hábitat para los insectos benéficos, y también el uso de plantas trampas (cultivadas intercaladas o cerca de los cultivos principales), ejercen un importante papel en la producción vegetal sustentable.

Estudios efectuados tanto en la materia orgánica como en exudados radiculares de abonos verdes en suelos de Paraná, han mostrado que cuando predominan los residuos de relación C:N baja hay un estímulo al desarrollo del hongo *Astrobolrys oligospora* (hongo productor de hifas adhesivas que ayudan en el control de nemátodos) cuando los residuos son de relación C:N alta, hay un estímulo a *Paecilomyces litacinus* (hongo parásito de huevos de *Meloidogyne*) (Vellozo, 1994, comunicación personal).

Algunas observaciones han mostrado que los rastrojos de maíz, girasol, y las pajas de centeno, avenas, raigrás, y mijo, son muy efectivas en la reducción del potencial de inóculos en el suelo, y así muy eficientes, cuando se utilizan en rotación con otros cultivos, en disminuir los riesgos de ataque de enfermedades.

La mayoría de las especies hortícolas cultivadas pueden sufrir ataque de nemátodos, principalmente del género *Meloidogyne*. Podemos citar: tomate, morrón, papa, zapallo, pepino, melón, sandía, brócoli, repollo, poroto, lechuga, etc. Además de esa especie de nemátodos, otras como *Ditylenchus dipsaci*, pueden causar grandes perjuicios en ajo.

Generalmente cuando se cultivan por varios años especies que son susceptibles a nemátodos, hay una tendencia al aumento poblacional de los mismos, llegando a causar daños económicos en los cultivos comerciales. Cuando esto ocurre, normalmente está asociado a la degradación del suelo (principalmente con la disminución de los niveles de materia orgánica), y se hace necesario tomar medidas que procuren bajar los niveles de nemátodos fitoparásitos en el suelo y hacer viable la explotación de cultivos comerciales. Es así que, en general, las plantas de cobertura pueden cumplir un papel destacado para lograr dichos propósitos, dentro de una estrategia que estará asociada a otras medidas (rotar con otros cultivos comerciales poco susceptibles, cultivares resistentes, etc.).

Dentro de las especies para abono verde más recomendadas para bajar las poblaciones de nemátodos fitoparásitos se encuentran: crotalarias, mucunas, guandú, avena, centeno, raygrás, moha, facelia (*Phacelia tanacetifolia*, de la familia de las hidrofíláceas), etc.

Con el objetivo de evaluar la dinámica poblacional de nemátodos en el sistema abonos verdes de verano/ajo, fueron conducidos trabajos de campo por Casella; Olmos; De León & Fernández, 1995, en los predios de los Sres. Ramón Perrone y Jorge Lisini (Canelón Grande), sur de Uruguay. Los resultados obtenidos de tres evaluaciones en los dos ensayos, muestran una disminución de nemátodos fitoparásitos con porcentajes variables en las dos últimas evaluaciones con relación a la primera (Calegari & Peñalva, 1999, en vías de publicación).

Las condiciones de sequía y altas temperaturas pueden influir negativamente en la población de nemátodos, por el contrario la presencia de malezas puede jugar un papel preponderante en el mantenimiento de los mismos.

En cuanto al comportamiento de los distintos abonos verdes y testigos, con relación a las variaciones en el número de ejemplares de los distintos nemátodos, se puede señalar que:

- Los tratamientos con mucuna ceniza, mijo, guandú y mijo x caupí fueron los que presentaron una mayor disminución en el número de *Xiphinema rivesi*.
- Ninguno de los abonos verdes (mucuna ceniza, crotalaria juncea, mijo, guandú, mijo x caupí) permitió el crecimiento de *Tylenchus*.

- La combinación mijo x caupí fue la que permitió lograr bajar más los números de ejemplares de los nemátodos fitoparásitos.
- De acuerdo a los investigadores, infelizmente el grupo de nemátodos predadores no fue evaluado. Su presencia podría también contribuir en explicar el descenso de algunas especies de fitoparásitos, dado que el agregado de material vegetal (verde) al suelo, estimula la formación y crecimiento de la microflora y microfauna en el mismo.
- Según ellos durante las tres evaluaciones que fueron hechas, las poblaciones de nemátodos fitoparásitos estuvieron en un nivel aceptable, es decir, su número no debería causar daños desde el punto de vista económico al cultivo de ajo.

Los resultados observados por los investigadores nos sugieren que es necesario continuar las evaluaciones, con un mayor tiempo de estudios y detalles, para así con mejores criterios, poder entender los efectos y las interacciones de los diferentes abonos verdes con las distintas especies de nemátodos.

Tanto la investigación como la comprobación de campo por parte de los productores han sido observadas en América del Sur demostrando los efectos favorables del uso de abonos verdes, rotación y de la labranza de conservación. En áreas agrícolas de Paraná la rotación ha sido incrementada cada año, inclusive con efectos favorables del maíz sobre la soja del próximo año y también de la soja sobre el maíz, además de los efectos favorables de los cultivos de cobertura, avena, lupino, vicias, mijo, guandú, cowpea, crotalaria, etc. sobre los cultivos de renta (Calegari et al., 1993; Calegari, 1998).

Efectos indirectos de los abonos verdes

En la alimentación animal

De acuerdo a Calegari y Peñalva, 1994, además de las especies a ser empleadas como abonos verdes, muchas pueden también ser usadas como alternativa de forraje a los animales (vacunos, cerdos, ovejas, gallinas, etc.). En este sentido, el aprovechamiento puede ser hecho tanto en forma de forraje verde, heno, silaje, o también con el uso de los granos cosechados. (Cuadros 3 y 4).

Cuadro 3. Alternativas de uso de especies de otoño/invierno para abono verde en la alimentación animal.

ESPECIES DE OTOÑO/INVIERNO	VACAS LECHERAS		SUINOS		AVES	HUMANOS
	forraje	granos	forraje	granos	granos	granos
Arveja forrajera	*	*	*	*	*	*1
Vicia peluda	*	-	*	-	-	-
Vicia común	*	-	*	-	*	-
Chícharo	*	*	*	*	*	*
Lupino	*	*	*	*	*	*
Avena blanca	*	*	*	*	*	*
Avena negra	*	*	*	-	-	-
Centeno	*	*	-	*	*	-
Nabo forrajero	*	-	-	-	-	-

Referencias: * Se utiliza. - No se utiliza. 1 Granos verdes.

Cuadro 4. Alternativas de uso de especies de primavera/verano para abono verde en la alimentación animal.

ESPECIES DE OTOÑO/INVIERNO	VACAS LECHERAS		SUINOS		AVES	HUMANOS
	forraje	granos	forraje	granos	granos	granos
Caupí	*	*	*	*	-	*
Crotalaria juncea	-	-	-	-	-	-
Frijol de cerdo	-	-	-	-	-	-
Poroto mungo	*	-	-	*	-	*
Guandú	*	*	*	*	*	*
Mucuna ceniza	-	-	-	*1	-	-
Mucuna enana	-	-	-	*1	-	-
Mijo	*	*	*	*	*	*
Girasol	*	-	-	-	*	-

Referencias: * Se utiliza. - No se utiliza.

1 Las mucunas deberán ser tratadas previamente con calor (cocimiento por varias horas o tostado), para inactivar la L-Dopa, sustancia que puede ser dañina al organismo (Vecinos Mundiales, (1989), citado por Derpsch & Florentín, 1992).

Así, tanto los cultivos individuales como los consociados podrán ofrecer alimentos de elevado contenido proteico, además de los efectos de las raíces y algunos residuos que se quedan en el suelo y así favorecer el cultivo posterior (plantas anuales). También en el caso de abonos verdes intercalados a cultivos perennes (frutales y vid), los efectos en el suelo a través de las raíces y algunos rastrojos que quedan son muy favorables al sistema.

Los consorcios avena negra x vicia, mijo x caupí y mijo x guandú, son algunos buenos ejemplos de mezclas, muy favorables para el suelo, para los cultivos comerciales y también como oferta de forraje (voluminosa y proteica).

En la Apicultura

Además de la importancia en el uso como plantas mejoradoras y/o recuperadoras de suelos, algunos de los abonos verdes presentan un gran valor en la cría de abejas por su elevada producción de néctar y polen. Dentro de las especies que más se destacan en este aspecto podemos mencionar:

- Especies de otoño/invierno: nabo forrajero, chícharo, lotus, alfalfa, lupino, arveja forrajera, vicias, tréboles, serradela, etc.
- Especies de primavera/verano: girasol, guandú, crotalarias, girasol, melilotus, *Fagopirun esculentum*, etc.

Con una buena oferta de néctar y polen hay una tendencia en el aumento de la población de abejas, y así pueden mejorar también, por la más efectiva polinización en algunos cultivos, el rendimiento de los mismos (por ejemplo: manzanos, perales, durazneros, etc.). Así se puede aprovechar, además, el efecto benéfico a los cultivos, y también una renta extra obtenida con la producción de miel por las abejas.

Los resultados obtenidos a lo largo de los años en Paraná y otras partes de Brasil demuestran que los abonos verdes en sistemas productivos conducidos en rotación y sin laboreo (siembra directa), son altamente viables, tanto económicamente, como

ecológicamente sustentables. Se comprobó no solamente una mayor productividad de los cultivos sino la conservación, mantención y/o recuperación de la fertilidad de los suelos. Además de esto, los abonos verdes promueven una economía con fertilizantes nitrogenados (leguminosas), mayor equilibrio en la biología del suelo, disminuyendo efectos de plagas y/o enfermedades, o sea, constituye una forma bastante promisoría de manejar los suelos en dirección a la sustentabilidad.

La comprensión de la influencia de los residuos sobre el reciclaje de nutrientes, y los efectos en el equilibrio de las propiedades del suelo dentro de diferentes sistemas de cultivo son una de las claves para desarrollar un buen manejo de la fertilidad del suelo.

Rotación de cultivos

Es el sistema en que se alternan, en la misma época durante años consecutivos, diferentes cultivos en secuencia temporal en una determinada área.

En general en áreas con barbecho, o en suelos no utilizados durante el invierno o verano, con bajos tenores de materia orgánica, se recomienda la inclusión de especies de plantas usadas como abonos verdes integrando un adecuado esquema de rotación de cultivos.

Cook y Ellis (1987) estudiando muchos años y compilando diferentes resultados sobre rotaciones en diferentes partes del mundo concluyeron en que **hay 3 principios fundamentales en las rotaciones de cultivos:**

1. La rotación de cultivos es mejor que los monocultivos continuos, ya sea que los cultivos no sean leguminosas o que temporariamente ocurra inmovilización del nitrógeno (como es el caso de maíz-avena);
2. El sistema de rotación para ser bien efectivo deberá incluir una leguminosa;
3. La rotación sola no es suficiente para mantener la productividad, además de las plantas se necesita también la reposición de los nutrientes extraídos del sistema.

La adecuada utilización de rotación de cultivos proporciona efectos directos e indirectos muy favorables a los diferentes sistemas productivos.

Efectos físicos

Estos efectos pueden ser observados de acuerdo a las especies empleadas, época de siembra, distancia entre las plantas, cantidad de biomasa producida (área y radicular). La formación de agregados y su estabilidad en agua, en general está directamente relacionada con los niveles de materia orgánica, actividad de los microorganismos (principalmente por la acción de las hifas de hongos), exudados radiculares (polisacáridos), y por la dinámica de humedecimiento y secado del suelo, etc.

Además de esto, los distintos cultivos con sus diferentes sistemas radiculares exploran distintos horizontes del perfil, contribuyendo a una mayor porosidad y consecuente mejor aireación e infiltración de agua en el mismo.

Efectos químicos

Con la mejor distribución de los residuos orgánicos en el perfil del suelo por efecto del reciclaje de los nutrientes y fijación de nitrógeno (leguminosas) realizadas por los abonos verdes (raíces y residuos de la parte aérea) y/o rastrojos de plantas comerciales empleadas en la rotación, consecuentemente hay una mejor distribución de los nutrientes en el perfil (Calegari, 1995). Así, además de otros importantes efectos, la materia orgánica

también se presenta como una importante fuente de nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y potasio.

Efectos biológicos

Tanto los cultivos comerciales como los abonos verdes en rotación, en razón de la casi constante adición de residuos culturales, así como por el importante efecto de las raíces y sus exudados, interfieren directamente en la dinámica poblacional de los organismos del suelo. Así, por acción de los macro, meso y microorganismos, los primeros centímetros del perfil del suelo se constituyen en una zona de intensas modificaciones en la cual ocurre la mayor parte del ciclo de los nutrientes.

Debido a que la materia orgánica y los exudados radiculares constituyen las principales fuentes de energía para los organismos del suelo, su disponibilidad es determinante tanto para las actividades de los microorganismos como para su nivel poblacional.

Resultados con el sistema siembra directa incluyendo abonos verdes y rotación de cultivos

Los resultados obtenidos a lo largo de los años en Paraná y otras partes de Brasil demuestran que los abonos verdes, siendo parte de sistemas productivos conducidos preferencialmente en áreas sin laboreo (siembra directa), y en rotación con otros cultivos son altamente viables económicamente, como ecológicamente sustentables. Se comprueba no solamente una mayor productividad de los cultivos, sino la conservación, mantención y/o recuperación de la fertilidad de los suelos. Además de esto, promueve una economía con fertilizantes nitrogenados (leguminosas), mayor equilibrio en la biología del suelo, disminuyendo efectos de plagas y/o enfermedades, o sea, constituye una forma bastante promisorio en el manejo de los suelos en dirección a la sustentabilidad.

Con la práctica del sistema siembra directa, a través de la cobertura continua del suelo con residuos vegetales, se pueden disminuir considerablemente las pérdidas del suelo por erosión (Triplett et al., 1968; Lal, 1975; Wilson, 1978; Derpsch et al 1991; Calegari et al. 1995).

Evaluaciones efectuadas por Derpsch & Calegari, 1992, en un latosolo arcilloso distrófico en Londrina, Pr., mostraron que:

- El mayor rendimiento de soja fue obtenido sobre avena negra (2670 kg/ha). Este rendimiento fue superior en 770 kg/ha en relación al promedio de los otros tratamientos.
- Las mayores productividades de maíz fueron alcanzadas sobre lupino blanco (6.410 kg/ha), y sobre los rastrojos de la vicia peluda (6.320 kg/ha). Estos rendimientos fueron superiores a los obtenidos en rotación con gramíneas (trigo, avena, y centeno), chícharo y girasol.
- Para el frijol, los mayores rendimientos fueron sobre avena negra (740 kg/ha) y el nabo forrajero (670 kg/ha), y sobre el barbecho (descanso) invernal la producción fue de apenas 400 kg/ha.

La tendencia favorable presentada por los resultados alcanzados están en acuerdo a los datos obtenidos por productores de Paraná, que utilizan abonos verdes, rotación de cultivos y cero labranza, además de comprobar que el lupino blanco, azul y *Vicia villosa* cuando son cultivados antes que el maíz pueden alcanzar el equivalente a 90 kg/ha de nitrógeno (Derpsch & Calegari, 1992; Calegari, 1995).

Resultados importantes fueron también obtenidos por Calegari, 1997, (datos no publicados), donde muestra los importantes efectos de la Vicia en cuanto al suministro de nitrógeno para el maíz, principalmente en la siembra directa, donde el área donde había vicia sin N presentó rendimientos similares de maíz comparados con el área de avena negra con 90 kg N/ha. En general siempre hubo una respuesta a las aplicaciones de nitrógeno (1/3 en la siembra y 2/3 a los 45 días después de la siembra del maíz). En los tratamientos avena y descanso sin nitrógeno, fueron observados mayores rendimientos de maíz en las áreas laboreadas (convencional) que en siembra directa. Por otro lado, donde había vicia sin N, los mayores rendimientos fueron en siembra directa. Todos los tratamientos en siembra directa presentaron mayores respuestas a N que el convencional (Figura 1).

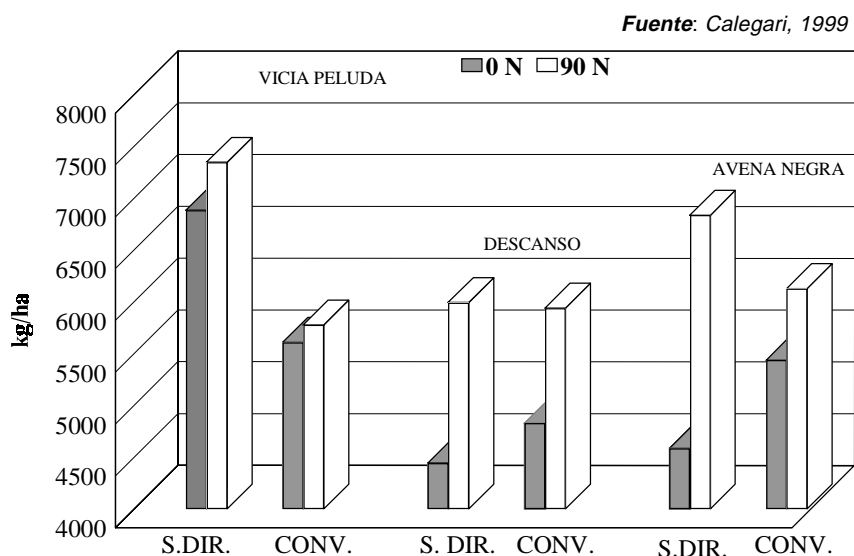


Figura 1: Rendimiento de maíz (AG-513) en rotación con abonos verdes de invierno – IAPAR – Pato Branco, PR.

Resultados experimentales obtenidos por Calegari, 1995, en el suroeste de Paraná, mostraron después de nueve años de manejo de suelos y cultivos lo siguiente:

- La siembra directa comparada con la convencional provocó alteración en la distribución de algunos nutrientes en el perfil del suelo;
- Los abonos verdes de invierno produjeron diferentes cantidades de materia seca y presentaron diferentes concentraciones de nutrientes en los tejidos. El acúmulo de residuos, incluyendo residuos de los cultivos de verano (soja y maíz), aumentó los niveles de algunos nutrientes y del carbono orgánico del suelo.
- Los residuos de maíz después de la cosecha mostraron mayores concentraciones de P y N en el sistema labranza cero.
- Las mejores condiciones promovidas por el sistema de cero labranza comparado con laboreo promovió mayores rendimientos de maíz y soja.
- Cuando es utilizado lupino azul (*Lupinus angustifolius* L.) y vicia peluda (*Vicia villosa* L.) en cero labranza, es posible, una equivalencia de 90 kilogramos de nitrógeno por hectárea (urea) comparado con el testigo en siembra convencional.

La experiencia del productor Sr. Manuel Enrique Pereira (Nonô Pereira) en la Hacienda Agripastos, en Palmeira, Paraná ha mostrado que después de 18 años de manejo y

cultivos, son grandes los efectos en la disminución del uso de fertilizantes, y también en el aumento de rendimiento de granos en el sistema siembra directa comparado con el sistema convencional (1 arada + 2 pasadas con rastras de discos). Así, en siembra directa fue posible aumentar en hasta 50% los rendimientos de granos (soja, maíz y trigo) anualmente y al mismo tiempo disminuir en 50% la utilización de fertilizantes.

Los datos muestran que la siembra directa lleva con el tiempo a una conservación y mejoría de todas las características del suelo, provocando así una reducción en el empleo de fertilizantes, un aumento en la productividad de los cultivos, y consecuentemente una mayor renta líquida de la finca.

La baja disponibilidad de nutrientes puede limitar la actividad microbiológica de los suelos, principalmente aquellos con gran cantidad de carbono orgánico mineralizable, donde la inmovilización es elevada, o en aquellos con baja fertilidad, donde la disponibilidad es extremadamente pequeña. Por otro lado, la aplicación alta y localizada de fertilizantes minerales, especialmente los de solubilidad y salinidad elevada, puede tener efectos perjudiciales para algunos grupos de microorganismos, provocando desequilibrio del sistema, con posibilidades de surgimiento de fitopatógenos del suelo. Muchos resultados de investigación y experiencia de productores han demostrado efectos favorables y aumento de rendimiento de maíz, mandioca, frijol, etc. con el empleo de los abonos verdes en rotación (Figura 2). Resultados obtenidos en Pato Branco, suroeste de Paraná con el cultivo de frijol sobre rastrojos de distintos abonos verdes muestran los efectos favorables de la rotación. Seguramente hubo un conjunto de efectos físicos/químicos/biológicos en el suelo que llevaron a mayores rendimientos de frijol.

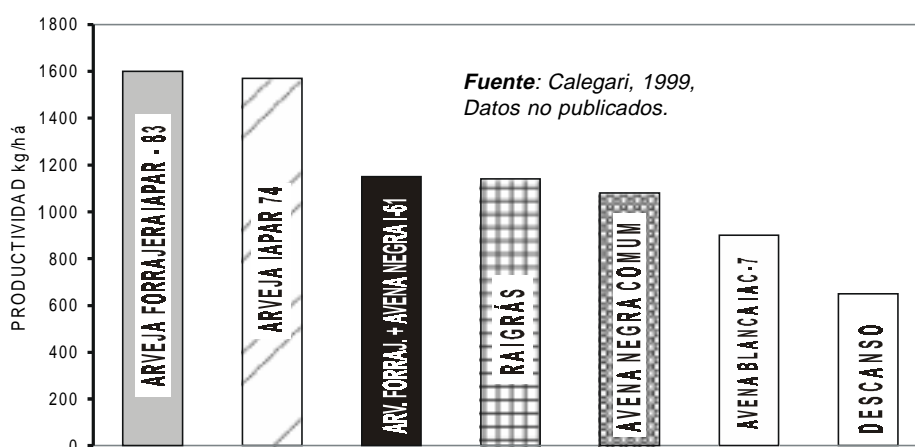
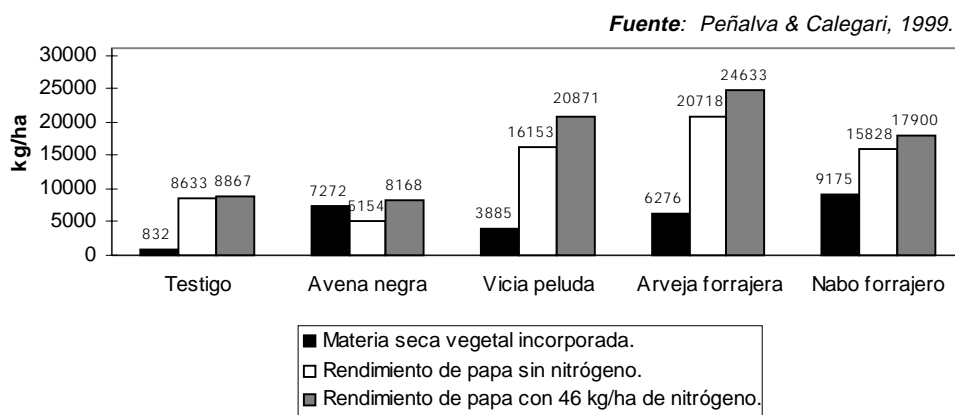


Figura 2. Efecto residual de abonos verdes de invierno sobre frijol – 1999.

Como se puede verificar el frijol, así como otros cultivos de renta, presentan buenas respuestas al uso de abonos verdes, rotación y siembra directa, en este caso con una superioridad de rendimiento en relación al testigo (barbecho-descanso) alrededor de 1000 kg/ha.

Con el objetivo de buscar opciones y evaluar coberturas mejoradoras de las características del suelo para el cultivo de la papa, fue conducido un ensayo durante dos años en el predio del Sr. Amilivio Martínez en Costa de Pando, departamento de Canelones, Uruguay. Cada año fueron cultivadas las especies de otoño/invierno y en la fase de prefloración-floración fueron manejadas con rotativa y después incorporadas al suelo a través de arado y excéntrica. Normalmente 30 a 40 días después del manejo



Predio del Sr. Amilvio Martínez, Costa de Pando. Zafras: 1991-92 y 1992-93 (promedio).

Figura 3. Rendimiento de papa sobre abonos verdes de invierno.

fue plantada la papa. En la Figura 3 se presentan los resultados del ensayo, obtenidos en el promedio de los dos años.

La información presentada en la Figura muestra algunas tendencias:

- Las leguminosas presentaron los mejores efectos en el suelo y en el rendimiento de la papa.
- A pesar de la alta producción de materia seca, hubo una condición desfavorable para la papa en el tratamiento con avena negra, inclusive peor que en el testigo. Posiblemente el tiempo para la descomposición de los residuos de la avena negra no fue suficiente antes de plantarse la papa, y también la cantidad de nitrógeno aplicada (46 kgN/ha) no fue suficiente para acelerar este proceso. Así, el proceso de mineralización de los residuos de elevada relación C:N no fue completado, y además perjudicó el desarrollo de la papa. En el ensayo de Libertad donde fueron aplicados 175 kgN/ha, a pesar de una cantidad superior de 4,5tMS/ha de avena negra, la mineralización ocurrió normalmente y la papa alcanzó un rendimiento de casi 20t/ha.
- Todos los tratamientos respondieron a la aplicación de 46 kgN/ha, siendo las leguminosas (vicia y arveja) las que presentaron mayores respuestas, o sea 29 y 19 %, respectivamente.
- El tratamiento testigo a pesar de la baja población de malezas (832 kgMS/ha), presentó mejores respuestas que la avena negra para la producción de papa.
- El nabo forrajero mostró, por la gran materia seca producida, ser muy eficiente en el mejoramiento del suelo y en el reciclaje de nutrientes, y la papa con este tratamiento presentó rendimientos poco inferiores al tratamiento con vicia peluda.

Analizando conjuntamente el ensayo de Costa de Pando y Libertad se puede inferir que posiblemente con baja dosis de nitrógeno (Costa de Pando), no es intensificada la mineralización en la leguminosa y tampoco en la gramínea, y además de los efectos físicos en el suelo, hay una tendencia a presentar mayores respuestas en el rendimiento de papa cuando se compara con la gramínea. Por otro lado, cuando son aplicadas altas dosis de nitrógeno (Libertad), hay una aceleración en el proceso de descomposición y mineralización de los residuos de la leguminosa (acelerando las pérdidas de nitrógeno),

y así, una mayor respuesta en producción de papa donde hubo elevada masa vegetal de gramínea que tiene una descomposición más lenta (relación C:N alta) y por lo tanto las pérdidas de nitrógeno son menores.

Los residuos vegetales acumulados en el suelo, o sea el aumento en los niveles de materia orgánica incrementan la actividad biológica, aumentando el número y las especies de organismos, lo que lleva normalmente a un mayor equilibrio natural, impidiendo que ocurra una predominancia de determinada especie de organismo sobre otra, y así en algún momento resultar en un perjuicio para determinado cultivo.

Estudios conducidos durante tres años en Ponta Grossa, centro sur del Paraná en un latosolo rojo oscuro y en un latosolo arcilloso distrófico en Londrina norte del estado mostraron que la avena negra, el centeno, raygrás, la vicia y el nabo forrajero fueron las especies que presentaron, por sus efectos alelopáticos, mejor control en las malezas. Así, estas plantas son muy importantes para formar parte de diferentes sistemas de rotación de cultivos, que además de buenos efectos en los cultivos comerciales posteriores, también contribuyen para disminuir el uso de herbicidas aumentando la economicidad del sistema.

La arveja (*Pisum arvense* L.) y la vicia (*Vicia villosa* L.) liberan en el suelo sustancias químicas que aceleran la fotosíntesis y la absorción de fósforo por la cebada y la avena, mientras que los exudados de estos cereales reducen los mismos procesos en las dos leguminosas (Rakhtenko et al., 1973, citados por Almeida, 1988).

Se ha observado que el cultivo de caupi (*Vigna unguiculata* L.) tras caupi durante algunos años, por los efectos de sustancias alelopáticas, sufre una reducción del desarrollo, y lo mismo puede también ocurrir con algunas variedades de poroto (Calegari, Información personal).

Economicidad del sistema de rotación de cultivos

A continuación se presentan algunos ejemplos de resultados económicos obtenidos con el empleo de abonos verdes/rotación de cultivos:

- 1) Experimentos de rotación de cultivos con arroz y leguminosas en Goiás (Brasil), mostraron que los rendimientos de la gramínea subsecuente a leguminosas fueron de 40 hasta 50% superiores, siendo aún, sin fertilización nitrogenada, técnicamente viable y económicamente rentable (Bueno et al. 1978).
- 2) Estudios realizados por Martin et al., 1984, en la región de Ribeirão Preto, SP, mostraron que los productores de soja y de algodón, utilizando rotación de maíz, maní y abonos verdes (mucuna negra), alcanzaron más del doble de rendimiento comparados con los productores del mismo nivel tecnológico, pero que no adoptaron la innovación.

De acuerdo a los resultados, en condiciones adversas los productores aún obtuvieron mejores resultados. Esto ocurrió en función de mayores ganancias en la productividad, reducción del número de operaciones y menor gasto con fertilizantes, insecticidas y honguicidas.

Los productores que obtuvieron beneficios en relación a los que no adoptaron la innovación, lo hicieron en función de las ganancias en rendimiento, que presentó una variación del 5% (algodón) hasta el 45% (maíz) y reducciones en los costos de insumos, que fueron del 3% (maíz) y 25% (soja).

- 3) Estudios económicos conducidos por Sorrenson y Montoya (1989) en el estado de Paraná mostraron que los beneficios económicos con el uso de los abonos verdes son bastante significativos. En el caso del lupino blanco-maíz, los niveles

de lucros fueron dos veces más altos comparados con trigo-maíz, y 19% superior comparados con descanso-maíz. En el caso de la avena negra-soja los lucros fueron 3 veces más altos comparados con trigo-soja y 68% superior comparados con descanso-soja.

Los beneficios económicos y sociales de la integración de prácticas conservacionistas (abono verde, rotación de cultivos, cultivo mínimo, etc.), incluyendo principalmente el sistema de siembra directa, a nivel de productor rural y del estado de Paraná son elevadas. De acuerdo a Sorrenson & Montoya (1989), en un área estimada de 300.000 hectáreas en el año 1984, con la siembra directa asociada al uso de rotación de cultivos comerciales con abono verde de invierno, los beneficios adicionales fueron de \pm US\$ 52 millones/año, en función de:

- Disminución de las pérdidas de suelo (15 t/ha/año, US\$ 9 millones);
- Aumento de la productividad de los cultivos comerciales (US\$ 6 millones);
- Economía con combustibles (US\$ 2 millones);
- Economía con fertilizantes
 - nitrogenados (US\$ 21 millones);
 - fosfatados (US\$ 8 millones);
- Economía con herbicidas (US\$ 6 millones);
- Economía en los costos de resiembra (US\$ 6 millones);
- Economía en los costos con terrazas (US\$ 3 millones).

Actualmente, un área estimada de más de 2,5 millones de hectáreas con siembra directa en el estado de Paraná, implica por la adopción de dicho sistema, una economía de US\$ 433 millones.

Además de estos beneficios económicos, se alcanzan muchas otras mejorías sociales: elevación del potencial productivo y de la sustentabilidad del sistema, incluyendo el suelo; mayor vida útil de las Hidroeléctricas, en función del menor colmatamiento; reducción en los costos de tratamientos de agua para abastecimiento de las ciudades, así como en la conservación de rutas y redes de drenaje; disminución en los gastos con agrotóxicos y fertilizantes, y menor polución de los ríos y manantiales, etc.

- 4) Basándose en los promedios de varias cosechas obtenidas por productores del norte de Paraná (región de Maringá), fueron hechos los comparativos de la siembra directa y laboreo (1 rastra y 2 disqueadas) de una finca de 50 hectáreas, donde se constató que la soja en rotación (con abono verde de invierno y maíz), adecuadamente conducida en siembra directa, puede presentar un importante adicional de ingreso comparado al convencional (Cuadro 5).

Este trabajo muestra que el cultivo de la soa conducido en sistema de siembra directa, incluyendo abono verde de invierno y rotación de cultivos, es significativamente rentable y así económicamente superior comparado a la soja en el sistema convencional y en monocultivo. En caso que este cálculo sea efectuado actualmente (junio/97), las ganancias del sistema de siembra directa en relación al laboreo convencional es por lo menos 50% más, o sea, en 50 ha las diferencias favorables a la siembra directa son de más de US\$ 13.000.

Cuadro 5. Adicional de ingreso en el cultivo de soja (50 ha) en siembra directa/rotación comparada al convencional.

Ventajas del Sistema	Valores Observados (US\$)
Incremento de la productividad	3.960
Economía de mantención	1.145
Economía de combustible	731
Economía de mano de obra	2.880
Economía con fertilizantes	186
TOTAL	8.902

Fuente: Calegari, Darolt & Ferro, 1998.

Conclusión

Para garantizar que los agroecosistemas sean productivos, competitivos y sustentables a largo plazo, hay que buscar, sin duda, sistemas que contemplen a través de la biodiversidad, la diversificación de producción en el espacio y en el tiempo, reciclaje de nutrientes, y la recuperación y/o conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Por lo tanto, la integración de prácticas, debidamente sistematizadas, contribuye para una mejoría considerable no solamente de la agricultura como un todo, sino también de las condiciones socioeconómicas de los productores rurales. Esto quiere decir que es fundamental el planeamiento ambiental de la agricultura, donde seguramente hay mayores perspectivas de éxito. Los agroecosistemas tendrán, en el caso en que sus mecanismos de autocontrol lo ejerzan, una acción decisiva en la mantención de un equilibrio dinámico aceptable, tanto desde el punto de vista de la producción como de la calidad ambiental.

La siembra directa desarrollada en sistemas de rotación de cultivos lleva a una mejor distribución del trabajo durante todo el año, resultando en la eliminación del laboreo del suelo, rastras, y control mecánico de malezas. Esta condición permite un mayor tiempo para arreglar, planear y manejar diferentes actividades para una mejor diversificación en las propiedades. Con este sistema hay una fuerte reducción en las pérdidas de suelos, mejoría de la fertilidad, aumento en el rendimiento de los cultivos, mejor estabilidad de la producción, además de posibilitar el uso permanente de la tierra, demostrando así que es una adecuada forma que puede contribuir para lograr la **SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS.**

Literatura citada

- CALEGARI, A. & PEÑALVA, M. 1994. Abonos verdes- Importancia agroecológica y especies con potencial de uso en el Uruguay. Canelones, Uruguay, MGAP(JUNAGRA)-GTZ.
- CALEGARI, A. 1995. The effects of tillage and cover crops on some chemical properties of an Oxisol in South Western Paraná, Brazil. Dissertation Thesis. University of Aberdeen, Department of Plant and Soil Science. Aberdeen, Scotland, UK.
- _____; DAROLT, M.R. & FERRO, M. 1998. Towards sustainable Agriculture with a no-tillage system. *Advances in GeoEcology* 31, 1205-1209. Catena Verlag, 35447 Reiskirchen, Germany.

- _____ ; FERRO, M.; GRZESIUK, F.; & JACINTO Jr.,L. 1995. Plantio direto e rotação de culturas. Experiência em latossolo roxo, 1985-1992. Cooperativa dos Cafeicultores e Agropecuaristas de Maringá Ltda. Maringá-Pr. 64p.
- _____ ; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.doP.; COSTA, M.B.B.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S. & AMADO, T.J.C. 1993. Adubação verde no sul do Brasil, 2a. ed. Rio de Janeiro,AS-PTA. 346p.
- COOK, R. L. and ELLIS, B.G. 1987. Soil management a World view of conservation and production. John Wiley & Sons. USA.
- DERPSCH, R., FLORENTIN, M.A. 1992. La mucuna y otras plantas de abono verde para pequeñas propiedades. Publicación Miscelânea, nº 22. Asunción, Paraguay.
- _____ ; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KöPKE, U. 1991. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ/IAPAR. 272p.
- PEÑALVA, M. B. & CALEGARI, A. 1999. Abonos Verdes como integrantes de sistemas de producción hortícolas y frutícolas. Canelones, MGAP (JUNAGRA)-GTZ.154 p.
- QUESENBERRY, K.H.; BOLENSPERGER, D.D.; DUNN, R.A.; WILCOX, C.J. and HARDY, S.R. 1989. Selection for tolerance to root-knot nematodes in red clover. Crop Sci. 29:62-65.
- REIS, E.M.; BAIER, A.C. 1983a. Efeito do cultivo de alguns cereais de inverno na população de *Helminthosporium sativum* no solo. Fitopatol. Bras., v.8, n.2, p311-315.
- _____ ; BAIER, A.C. 1983b. Reação de cereais de inverno a podridão comum de raízes. Fitopatol. Bras., v.8,n.2, p.277-281.
- SANTOS, H.P.; REIS, E.M.; PEREIRA, L.R. 1990. Rotação de culturas. Efeitos no rendimento de grãos e nas doenças do sistema radicular do trigo de 1980 a 1987, Pesquisa Agropecuaria. Brasília, 25(11): 1627-35, nov.
- SANTOS, M. A. & RUANO, O. 1987. Reação de plantas usadas como adubos verdes a *Meloidogyne incognita*; Raça 3 e *M. javanica*. Nematologia brasileira,S.I, (11):184-97.
- SHARMA, R.D.; PEREIRA, J.; RESCK, D.V.S. 1982. Eficiência de adubos verdes no controle de nematóides associados à soja nos cerrados. Planaltina, EMBRAPA/CPAC. 30p. (Boletim de Pesquisa, 13).
- SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. 1988. Biotecnologia do solo: Fundametnos e Perspectivas. Brasília:MEC Ministério da Educação, ABEAS; ESAL, FAEPE. Editora Gráfica Nagy Ltda. 236p.
- VOSS, M. 1987. Biologia do Solo: suas relações com a química e a física do solo. In: informativo do contrato de Cooperação Técnica Embrapa/Fundação ABC. Plantio Direto, 22:4-5, Jul/Set.

Cultivos; exigencias, épocas de siembra, ventajas y limitaciones

Especie	Exigencias de clima y de suelo	Epoca de siembra	Distribución	Peso de 1000 granos (g)	Densidad de siembra (kg/ha)	Días a floración	Masa vegetal verde (t/ha)	Masa vegetal seca (t/ha)	Ventajas y limitaciones de la especie	Precauciones
vicia peluda <i>Vicia villosa</i> (Roth).	arcillosos y arenosos ácidos de baja fertilidad	marzo a mayo	voleo o con líneas a 20 cm con 26-32 semillas por metro lineal	37,8	50-60	140-180	20-37	3-5	ventajas: competencia con malezas, aporte de nitrógeno, rusticidad, opción forrajera, soporta sequía limitaciones: ciclo largo, no soporta anegamiento prolongado	
vicia común <i>Vicia sativa</i> (L.)	arcillosos y arenosos bien provistos de calcio y fósforo; no tolera acidez ni presencia de aluminio intercambiable	marzo a junio	voleo o con líneas a 20 cm con 25-40 semillas por metro lineal	30-50	70-80	120-150	20-30	3-5	ventajas: aporte de nitrógeno, fuente forrajera limitaciones: exigencia en suelos, no soporta sequía prolongada ni anegamiento	
avena negra <i>Avena strigosa</i> (Schreb)	arcillosos y arenosos de baja a media fertilidad desarrollándose bien con pH de 5-7	fin de febrero a junio	voleo o con líneas a 20 cm con 60-70 semillas por metro lineal	14-15	50-60	120-160	15-40	2-11	ventajas: competencia con malezas, rusticidad, opción forrajera, precocidad, elevada producción de biomasa, disminución de enfermedades en el suelo limitaciones: no soporta anegamiento prolongado	
lupino blanco <i>Lupinus albus</i> (L.)	arcillosos y arenosos moderada exigencia en fertilidad no tolera anegamiento	marzo a junio	voleo o con líneas a 20-35 cm con 10-15 semillas por metro lineal	300-500	100-140	120-140	30-40	3.5-5	ventajas: elevado suministro de nitrógeno, raíces pivotantes desarrolladas, las variedades dulces pueden ser utilizadas para la alimentación humana (granos) y animal (forraje y granos) limitaciones: problemas con algunas enfermedades, no compite bien con malezas	podría sufrir algunas enfermedades y/o plagas recomendándose su control
lupino amarillo <i>Lupinus luteus</i> (L.)	arcillosos y arenosos moderadamente ácidos y ácidos, de baja fertilidad tolera niveles elevados de Al intercambiable baja tolerancia al anegamiento	marzo a junio	voleo o con líneas a 20-35 cm con 10-15 semillas por metro lineal	100-150	70-120	130-150	18-30	3-4	ver lupino blanco por su rusticidad es recomendable en la recuperación de suelos arenosos	podría sufrir algunas enfermedades y/o plagas recomendándose su control
lupino azul <i>Lupinus angustifolius</i> (L.)	arcillosos y arenosos moderadamente ácidos a neutros; no tolera anegamiento	marzo a junio	voleo o con líneas a 20-35 cm con 10-15 semillas por metro lineal	130-180	80-140	120-140	25-40	3-6	ver lupino blanco enfermedades y/o plagas recomendándose su control	podría sufrir algunas
arveja forrajera <i>Pisum sativum subesp. arvense</i>	arcillosos con mejor desarrollo radicular en arenosos o francos, bien drenados, sueltos	marzo a junio	voleo o con líneas a 20 cm con 13-18 semillas por metro lineal, o en hoyos a 30-40 cm con 2-3 semillas por hoyo	95-125	80-90	100-130	15-40	2.5-7	ventajas: precoz, ciclo corto, elevado aporte de nitrógeno, opción forrajera limitaciones: puede presentar problemas con enfermedades y sufrir ataque de pulgones	
centeno <i>Secale cereale</i> (L.)	arcillosos y arenosos de baja fertilidad; más resistente a la acidez que la avena; no soporta suelos anegados; resiste a la sequía	marzo a junio	voleo o con líneas a 20 cm con 66-88 semillas por metro lineal	18	60-80	100-120	30-35	4-8	ventajas: buen y profundo sistema radicular, rusticidad (adaptación a suelos ácidos y de baja fertilidad), competencia con malezas, buena sanidad, disminuye enfermedades del suelo	
chicharo <i>Lathyrus sativus</i> (L.)	arcillosos y arenosos de media fertilidad	marzo a junio	voleo o con líneas a 20 cm con 4-11 semillas por metro lineal	250-400	90-120	100-120	20-35	2.5-4	ventajas: opción forrajera y de alimentación humana limitaciones: dificultad en la cosecha mecánica, puede presentar problemas con pulgones y algunas enfermedades de semillas	siembras densas disminuyen la producción
nabo forrajero <i>Raphanus sativus</i> (L.)	arenosos no demasiado secos	marzo a junio	voleo o con líneas a 20 cm con 36 semillas por metro lineal	6-14	10-20	90-110	20-65	3-9	ventajas: elevada capacidad de reciclaje de nutrientes, importantes efectos físicos en el suelo, opción forrajera, buen aporte de néctar para abejas (producción de miel), competencia con malezas limitaciones: precauciones en la producción de semillas por su cruzamiento con rábano: <i>Raphanus raphanistrum</i>	pueden ocurrir cruzamientos con rábano (<i>Raphanus raphanistrum</i>) en cultivos para producción de semillas
cebada <i>Hordeum vulgare</i> (L.)	franco y franco-limosos tolera mejor que la avena y el trigo los suelos alcalinos y se comporta mejor en los arenosos pero es más sensible a los suelos ácidos; no se adapta a suelos pobres, húmedos, pesados o apretados			40,9-42,8	100-120	90-110			ventajas: ciclo corto, buena competencia con malezas limitaciones: exigencia en fertilidad, puede presentar algunas enfermedades	

Cultivos; exigencias, épocas de siembra, ventajas y limitaciones

Especie	Exigencias de clima y de suelo	Epoca de siembra	Distribución	Peso de 1000 granos (g)	Densidad de siembra (kg/ha)	Días a floración	Masa vegetal verde (t/ha)	Masa vegetal seca (t/ha)	Ventajas y limitaciones de la especie	Precauciones
Caupí <i>Vigna unguiculata</i> (L.)	arcillosos y arenosos de media fertilidad sin anegamiento	setiembre a enero	voleo o con líneas a 40 cm con 20 sem. por metro lineal	50-300 media: 145	60-75	70-110	20-33	2.5-5.7	ventajas: rusticidad, resistencia a sequía, se desarrolla en suelos de baja fertilidad, opción alimenticia como forraje y granos (animales y humanos) limitantes: problemas para almacenar los granos (gorgojo)	almacenamiento de granos
Milheto <i>Pennisetum americanum</i> (Schum.)	mejor comportamiento que otros cereales en suelos arenosos, ácidos y de baja fertilidad soporta sequía	setiembre a enero	voleo o con líneas a 25-35 cm con 120 semillas por metro lineal	3,88	15-30	90-120	11-90	3.5-21	ventajas: elevada cantidad de biomasa, más rústico que maíz y sorgo en cuanto a fertilidad de suelo y humedad, con sistema radicular muy desarrollado, es una buena forrajera con rebrotes rápidos luego de cortes o pastoreos	
Guandú <i>Cajanus cajan</i> (L.) Mills.	arenosos y arcillosos no tolera anegamiento poco exigente en fertilidad	setiembre a diciembre	voleo o con líneas a 50 cm con 18 semillas por metro lineal	134	50	140-180	15-25	3-7.5	ventajas: raíces pivotantes que ayudan a la descompactación del suelo, gran fijadora de nitrógeno y recicladora de nutrientes, forraje con alto porcentaje de proteínas, posibilidad de utilizar los granos para alimentación animal y humana limitaciones: ciclo largo	
Guandú enano <i>Cajanus cajan</i> (L.)	arenosos y arcillosos no tolera anegamiento poco exigente en fertilidad	setiembre a diciembre	voleo o con líneas a 50 cm con 18 semillas por metro lineal	65-80 media: 70	25-30	100-150	10-22	2-6.5	ventajas: ciclo corto, buena producción de semillas, se adapta bien a consociaciones con otros abonos verdes, opción forrajera	
Crotalaria juncea <i>Crotalaria juncea</i>	arcillosos y arenosos	setiembre a enero	voleo o con líneas a 25 cm con 20 semillas por metro lineal	50	40	110-140	15-35	3-8.5	ventajas: precoz, competencia con malezas, aporte de nitrógeno, buena producción de biomasa, importante efecto físico en el suelo limitantes: ciclo largo	poda para estimular la formación de tallos para la producción de semillas
Girasol <i>Helianthus annuus</i> (L.)	se desarrolla en suelos ácidos de baja fertilidad soporta sequía	setiembre a enero	líneas a 20-40 cm con 5-15 plantas por metro lineal	85	20-50	70-120	20-46	4-8	ventajas: buen reciclador de nutrientes, crecimiento rápido, buena competencia con malezas, excelente para la sanidad del suelo (recomendable en rotación de cultivos)	
Sorgo forrajero <i>Sorghum bicolor</i>	arcillo-arenosos y fértiles pesados y arcillosos bien drenados mediana fertilidad toleran sequías	octubre a noviembre	voleo o con líneas a 30 cm	25-33	15-30	60-110	10-80	3.5-18.5	ventajas: competencia con malezas, mejora las características del suelo, buena producción de biomasa, buen atractivo para los enemigos naturales limitaciones: puede causar problemas de alelopatía	
Mucuna ceniza <i>Stizolobium cinereum</i> (Piper & Tracy)	arcillosos y arenosos pobres en fertilidad	setiembre a enero	voleo o con líneas a 50 cm con 6-8 semillas por metro lineal	803-904	60-90	130-150	10-25	2-5	ventajas: competencia con malezas, buen aporte de nitrógeno, rusticidad limitaciones: ciclo largo (dificultad para la producción de semillas)	
Mucuna enana <i>Stizolobium deeringianum</i> (Steph & Bart)	arcillosos y arenosos pobres en fertilidad, más exigente que m. ceniza	setiembre a enero	voleo o en hoyos a 40 cm con 2-3 semillas por hoyo	533-751	80-100	80-100	15-20	2-4	ventajas: ciclo corto limitaciones: producción media de biomasa, lluvias excesivas pueden perjudicar la cosecha y dañar las semillas	
Frijol de cerdo <i>Cánavalia ensiformis</i> (L.) DC.	arcillosos y arenosos pobres en fósforo	setiembre a enero	voleo o con líneas a 50 cm con 5-6 semillas por metro lineal	1350-1600	120-180	100-120	25-30	5-6	ventajas: rusticidad con respecto a suelos, competencia con malezas (control del pasto bolita), resiste altas temperaturas y la sequía limitaciones: por el gran tamaño de sus semillas es necesaria una alta densidad de siembra	
Poroto mungo <i>Vigna radiata</i> (L.)	prácticamente todos los suelos; no soporta anegamiento prolongado	setiembre a enero	voleo o con líneas a 40 cm con 20 semillas por metro lineal	55	20-30	60-80	15-30	3.5-6.5	ventajas: elevada producción de semillas, opción forrajera, posibilidad de utilización en la alimentación humana, resistencia a la sequía	
Poroto arroz <i>Vigna umbellata</i> (L.)	arcillosos y arenosos de media fertilidad soporta anegamiento soporta anegamiento	setiembre a enero	voleo o con líneas a 25 cm				20-35	3-6	ventajas: elevada producción de biomasa soporta anegamiento, buena producción de semillas, alimentación humana y animal (opción forrajera)	
Moha <i>Setaria italica</i> (L.)	francos de pH neutros bien drenados no soporta sequía prefiere suelos fértiles	setiembre a enero	voleo o con líneas a 15 cm	2,75	10-15	45-60	14,5-35,5	2.5-8.5	ventajas: ciclo corto, opción forrajera, buena producción de semillas sistema radicular superficial	
Maíz <i>Zea mays</i> (L.)	arcillosos y arenosos de media fertilidad	setiembre a enero	voleo o con líneas a 40-50 cm		20-30	80-100			ventajas: buena producción de biomasa, importantes efectos físicos en el suelo limitaciones: exigente en nitrógeno ventajas: rápida cobertura	
Sudangrás <i>Sorghum sp.</i>	arcillosos y arenosos de media fertilidad	setiembre a enero	voleo o con líneas a 25-30 cm		15	70-100		9	del suelo, competencia con malezas, buena producción de biomasa, efectos físicos en el suelo	
Maní <i>Arachis hypogaea</i> (L.)	arenosos, ácidos de baja fertilidad	setiembre a enero	líneas a 20-40 cm			60-90			ventajas: buena producción de biomasa, rústica, buen aporte de nitrógeno, reciclador de nutrientes, baja la población de nemátodos del suelo	

El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo

por Alejandro Morón*

Introducción

En reciente y muy bien documentada revisión sobre el manejo de los rastrojos, Kumar & Goh (2000), concluyen que no existe un único manejo de los mismos que sea superior en todas las situaciones. Un fuerte problema de transmisión de enfermedades, vía rastrojos, puede significar que una alternativa de manejo válida sea la quema o la incorporación de los mismos al suelo. Por otra parte, en regiones donde existen procesos erosivos significativos, déficit de agua en el ciclo de los cultivos o problemas de degradación de los suelos, la siembra directa con acumulación de rastrojos en superficie se constituirá en un manejo adecuado.

Un manejo adecuado de los rastrojos implica conocer los distintos efectos que estos producen en el suelo así como la o las principales limitantes del sistema agrícola en consideración. Así, mientras en los sistemas agrícolas en siembra directa de Paraguay y Mato Grosso do Sul (Brasil) procuran manejos que acumulen rastrojos en superficie, en el sur de la provincia de Buenos Aires o en el sur de Chile tratan de evitar la acumulación de rastrojos en superficie. Los rastrojos afectan propiedades y procesos físicos (contenido de agua del suelo, temperatura del suelo, erosión, etc.), biológicos (cantidad y composición de la biomasa microbiana, mineralización e inmovilización de nutrientes, etc.), y químicos (carbono y nitrógeno en la materia orgánica, pH, fósforo, etc.).

El objetivo del presente trabajo es presentar los principales efectos de los rastrojos en la fertilidad del suelo en el corto y largo plazo lo cual comprende aspectos químicos y biológicos.

Composición química de los rastrojos

La constitución de los diversos materiales vegetales que entran al suelo es heterogénea. Alexander (1977) establece que los constituyentes orgánicos de los vegetales pueden ser divididos en seis grandes categorías:

- 1) Celulosa. Es el constituyente vegetal más importante, pudiendo variar de un 15 a un 60 % del peso seco. Está formado por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). La celulosa es un compuesto orgánico, polisacárido, formado por unidades de glucosa unidas por enlaces β 1-4 en cadenas no ramificadas, encontrada en la pared celular de la célula vegetal

* Ing. Agr., Dr. , Sección Suelos INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay. E-mail: moron@inia.org.uy

- 2) Hemicelulosa. Generalmente el segundo compuesto orgánico en importancia después de la celulosa. Es un polisacárido, usualmente ramificado, formado por pentosas, hexosas y ácidos urónicos. Se encuentra en la pared celular asociado a la celulosa.
- 3) Lignina puede variar de un 5 a un 30 % del peso seco. Es un polímero de C, H y O de unidades fenil-propano, con estructura no uniforme y muy ramificada. Se encuentra asociado a la celulosa en la pared celular.
- 4) Fracción soluble al agua. Formada por azúcares simples, aminoácidos y ácidos alifáticos.
- 5) Fracción soluble en éter y alcohol. Formada por grasa, aceites, resinas y pigmentos.
- 6) Proteínas portadoras de la mayor parte del nitrógeno (N) y azufre (S) de los vegetales.

Por otra parte, la fibra detergente neutra (FDN) y la fibra detergente ácida (FDA) son análisis provenientes del área de nutrición animal que procuran caracterizar la calidad de las plantas. La FDN está compuesta esencialmente por celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice (Acosta, 1994). Es posible asimilar FDN a pared celular. La FDA es formada básicamente por los mismos constituyentes que la FDN excepto que excluye a la hemicelulosa (Acosta, 1994)

El porcentaje que ocupa cada gran categoría depende de la especie vegetal considerada y del estado de desarrollo. En general, a medida que la planta avanza en su desarrollo aumenta el contenido de celulosa y lignina y disminuyen las fracciones solubles al agua y las proteínas (Blaser et al, 1986). En la Figura 1 se observan los cambios mencionados anteriormente.

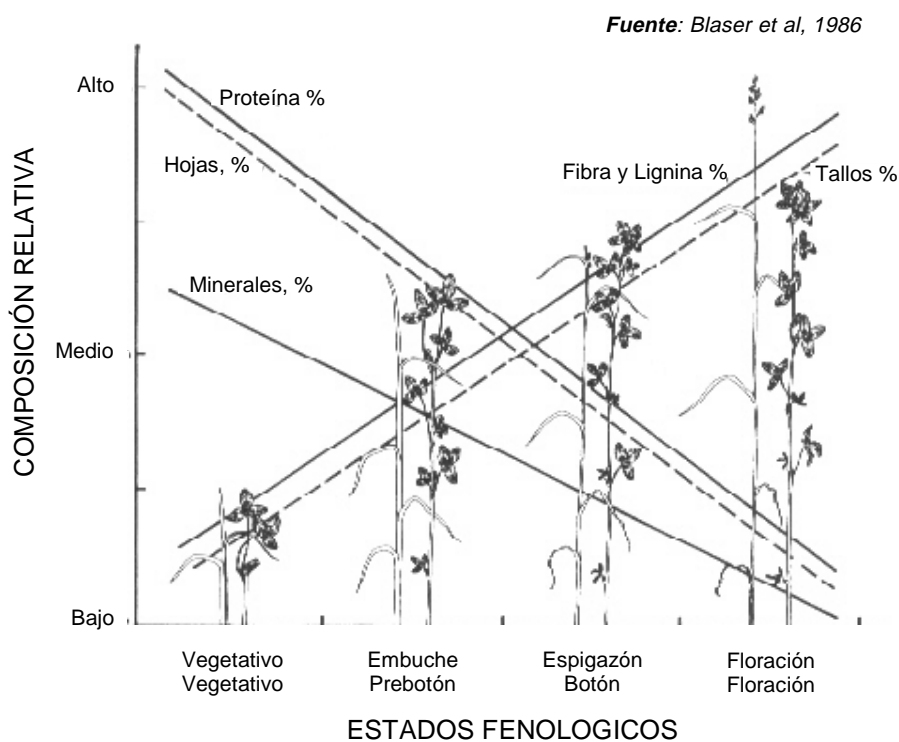


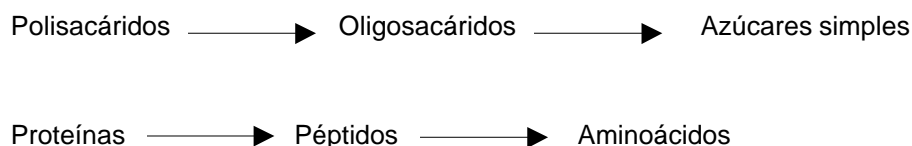
Figura 1. Evolución de los principales componentes de gramíneas y leguminosas de acuerdo con su estado fenológico.

Para ejemplificar, en la Cuadro 1 se observa la composición química de diferentes rastrojos usuales en el Uruguay. El contenido de C es bastante similar en los diferentes rastrojos y siempre cercano al 40 por ciento. El contenido de N es altamente variable, pudiendo existir más de 10 veces de diferencia en el contenido de N entre diferentes rastrojos. Esto se visualiza en el caso de Sorgo caña y T. blanco. Esto origina amplias variaciones en la relación C/N. También se observan variaciones importantes en el contenido de fósforo (P) y FDN entre los distintos rastrojos.

Descomposición y cambios en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo

La descomposición de los rastrojos es un proceso de importancia similar a la fotosíntesis pero de signo contrario. La fotosíntesis captura C como CO₂ de la atmósfera y la descomposición restituye el C también como CO₂.

En general se acepta que la velocidad de descomposición disminuye según el siguiente orden: azúcares y aminoácidos>proteínas>celulosa>lignina (Siqueira & Franco, 1988). Los microorganismos heterotróficos del suelo están especializados en distintas partes del proceso de descomposición. Comienzan con la producción de enzimas extracelulares (ejemplo celulasa) que producen la división de las grandes moléculas en sus constituyentes básicos o monómeros. En el proceso de la descomposición aeróbica de la celulosa se genera la glucosa, y de las proteínas los distintos aminoácidos. Sintéticamente:



Así, estos constituyentes básicos pueden ser absorbidos por los microorganismos para las distintas funciones metabólicas.

Cuadro 1. Composición química de la parte aérea de diferentes rastrojos

	%C	%N	C/N	%P	%FDN	%FDA
Gramilla (Cynodon)	42,7	1,16	36,8	0,31	75,6	39,1
Lotus corniculatus	42,7	2,44	17,5	0,25	43,2	28,4
Maíz-caña	40,5	0,68	59,6	0,25	60,4	30,4
Maíz-hoja	41,6	1,85	22,5	0,30	67,2	31,7
Sorgo-caña	39,7	0,29	137,0	0,15	69,9	40,5
Sorgo-hoja	40,3	0,93	43,3	0,23	69,6	35,9
T.blanco	41,3	3,04	13,6	0,33	31,5	23,0

En la Figura 2 se presenta un esquema de la descomposición de un sustrato simple. En términos de C, la descomposición puede ser vista como una redistribución del C del sustrato donde éste se divide en tres partes:

- a) C-CO₂ producto del proceso de la obtención de energía vía respiración.
- b) C incorporado en las células microbianas.
- c) C en compuestos orgánicos de origen microbiano de los cuales parte es convertido en C humificado.

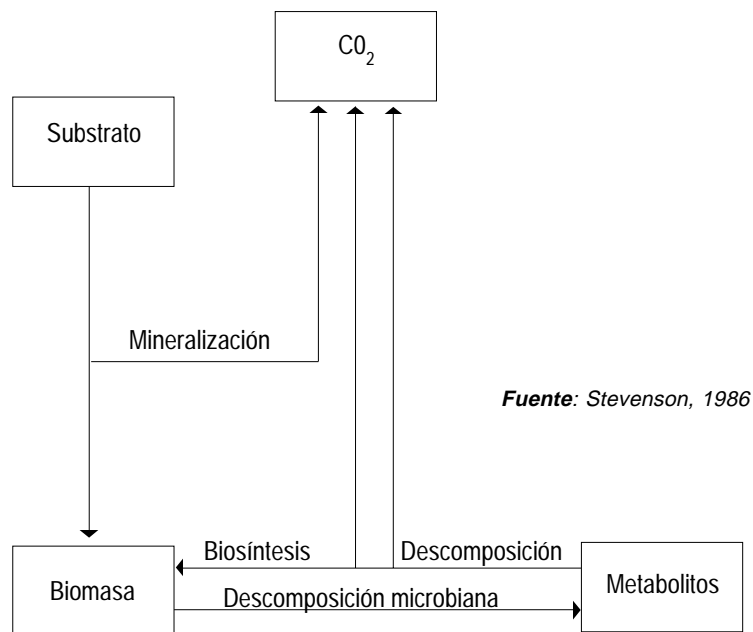
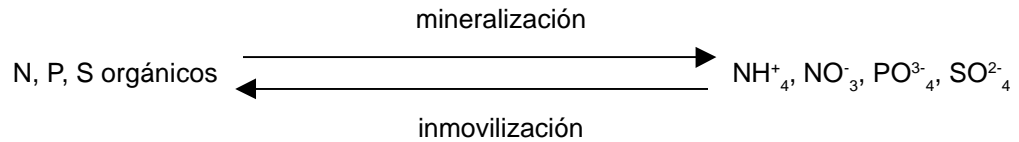


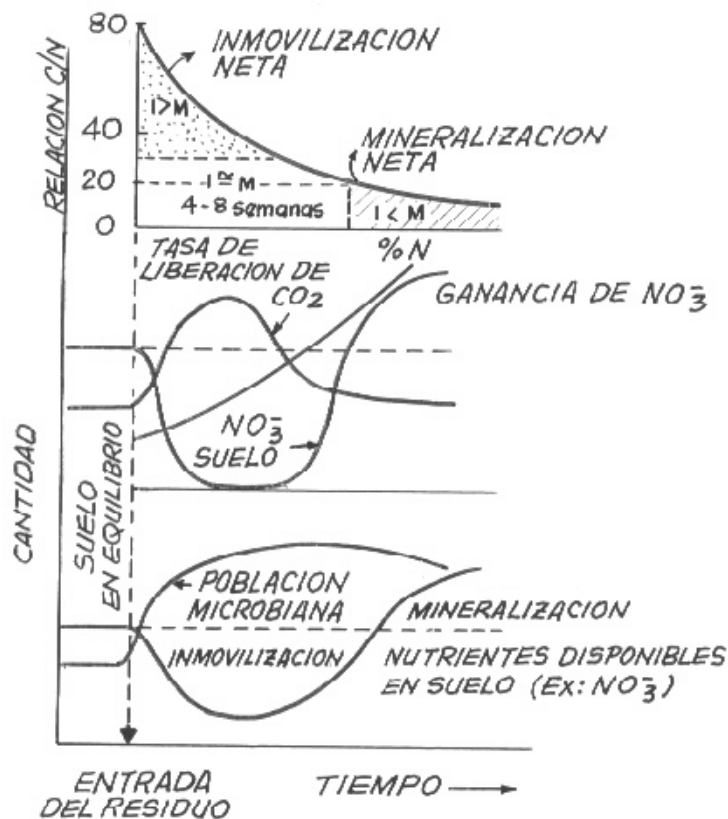
Figura 2. Modelo de descomposición de un sustrato simple en el suelo

En términos generales se considera que 20 a 40 % del C del sustrato es transformado en C microbiano en condiciones aeróbicas. En este aspecto existen diferencias importantes entre los microorganismos. Según Alexander (1977) las menores eficiencias se encuentran en las bacterias anaerobias (2-5%), valores intermedios en las bacterias aeróbicas (5-10 %), y las mayores eficiencias se registran en los hongos(30-40%). Holland & Coleman (1987) reportan otros valores de eficiencias pero con idénticas tendencias ubicando a los hongos con los más altos índices de utilización del C.

El crecimiento y desarrollo de los microorganismos inducido por la presencia de un rastrojo o material vegetal implica una retención temporaria de C y otros elementos como nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, etc. La magnitud de las necesidades de N de los microorganismos dependerá de la cantidad de C ofrecido vía rastrojo, de la eficiencia de conversión del C rastrojo en C microbiano y de la relación C/N de los microorganismos. El N necesario para el crecimiento, desarrollo y reproducción de la mayoría de los microorganismos puede tener dos orígenes: N constituyente del mismo rastrojo o N mineral (amonio, nitrato) presente en la solución del suelo. Cuando los microorganismos toman N mineral del suelo para convertirlo en proteína microbiana el proceso se denomina inmovilización. Esquemáticamente:



La inmovilización y mineralización de N son procesos microbiológicos de importancia agronómica práctica. En el Cuadro 2 se presenta un ejemplo teórico de inmovilización de N para dos grupos distintos de microorganismos. Los hongos, a pesar de tener una concentración de N inferior que las bacterias en sus células, inmovilizan más N debido a la alta eficiencia de conversión del C del sustrato en C microbiano. La liberación ocurrirá cuando se produzca la muerte y descomposición de esas células microbianas. Esos nutrientes, ejemplo N, podrán tener diversos destinos dentro de los cuales pueden mencionarse ser absorbido por las plantas o nuevamente por otros microorganismos. Cuando los microorganismos degradan rastrojos con concentraciones de nitrógeno superiores a sus necesidades, el exceso de N es excretado como N- NH_4^+ , proceso anteriormente definido genéricamente como mineralización y específicamente conocido como amonificación. Los valores de relación C/N debajo de los cuales se produce la amonificación son del orden 20 a 30. Rastrojos con valores superiores inducirán a inmovilización de N mineral en el tejido microbiano. En la Figura 3 se presentan las tendencias generales de la transformación que sufre un rastrojo de alta relación C/N y sus relaciones con el medio a medida que avanza el proceso de degradación.



Fuente: Stevenson, 1986; Siquiera & Franco, 1988

Figura 3. Tendencias generales en la descomposición de un rastrojo de alto cociente C/N y su relación con el medio.

Cuadro 2. Ejemplo teórico de las necesidades de nitrógeno en bacterias y hongos ante un sustrato compuesto de C, H y O.

	Bacterias	Hongos
Substrato, kg C	100	100
kg C en células microbianas formadas del sustrato	5-10	30-40
Relación C/N de células microbianas	5:1	10:1
kg N necesario a ser inmovilizado en las células microbianas	1-2	3-4

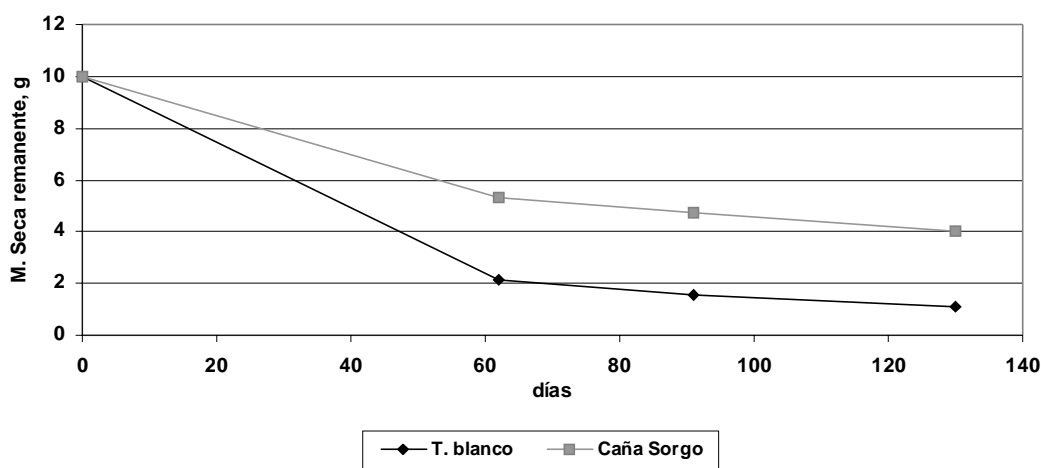


Figura 4. Descomposición de parte aérea de trébol blanco (%FDN = 31,5) y caña de sorgo (% FDN = 69,6), ambos enterrados, comenzando su descomposición en el invierno de 1993 en INIA La Estanzuela.

En la Figura 4 se observa la diferencia en la velocidad de degradación de dos rastrojos de diferente calidad cuando se encuentran enterrados. Morón & Baethgen (1995) y Morón (1999) informan sobre la asociación entre la velocidad de descomposición de diferentes rastrojos y la FDN.

La siembra directa con la colocación de los rastrojos en superficie introduce importantes cambios en el microambiente del rastrojo. En el Cuadro 3 se presentan una comparación relativa entre los ambientes en el cual se descompone el rastrojo en sistemas agrícolas con laboreo convencional (rastrojo enterrado) y cuando se encuentra en sistemas agrícolas de siembra directa (rastrojo en superficie).

Cuadro 3. Microambiente para la actividad de los microorganismos en la descomposición de los rastrojos en laboreo convencional (rastrajo enterrado) y siembra directa (rastrajo en superficie).

	Laboreo convencional	Siembra directa
Contacto suelo-rastrajo	+	-
Humedad del suelo en contacto	+	-
Humedad del rastrojo	+	-
Fluctuación de temperatura	-	+
Disponibilidad de nitrógeno	+	-

Fuente: adaptado de Schomberg et al (1994a)

En síntesis, las condiciones de descomposición en superficie son más adversas para los microorganismos que cuando el rastrojo está enterrado. En las Figuras 5a y 5b se constata experimentalmente la condición más adversa a la que están sometidos dos rastrojos de diferente calidad cuando se encuentran en superficie.

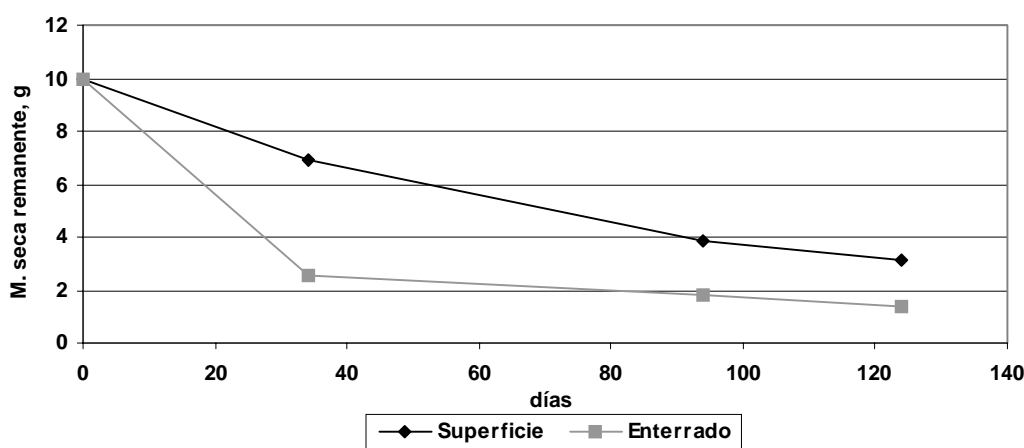


Figura 5a. Descomposición de parte aérea de trébol blanco (%FDN = 40), enterrado y en superficie, comenzando su descomposición en el invierno de 1995 en INIA La Estanzuela

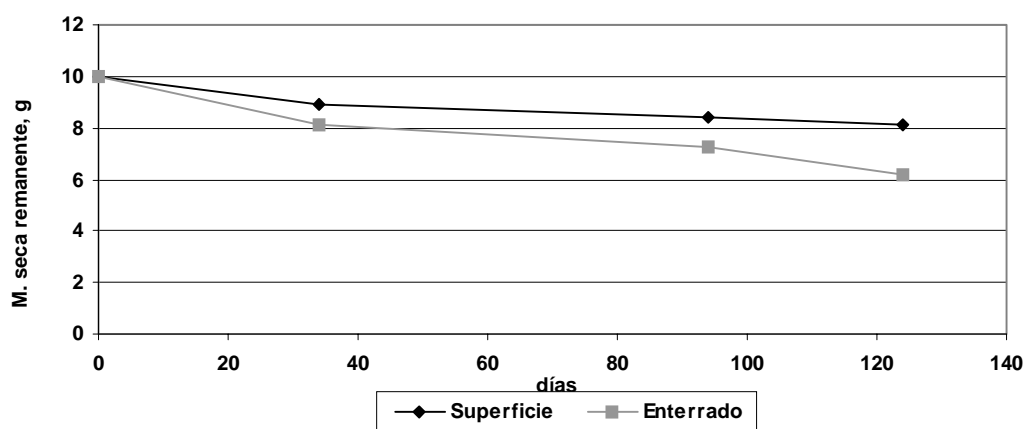


Figura 5b. Descomposición de raíces de maíz (%FDN = 87,7), enterrado y en superficie, comenzando su descomposición en el invierno de 1995 en INIA La Estanzuela

En la Figura 6 se presenta la evolución de la cantidad de nitrógeno en rastrojos de diferente calidad, enterrados, en condiciones de laboreo convencional y comenzando el proceso de descomposición en invierno en la Estación Experimental INIA La Estanzuela. Es muy rápida la liberación de N de rastrojos de alta calidad, como T. blanco. Cerca del 80 por ciento del N del T. blanco fue liberado del rastrojo en un período de dos meses. El N que es liberado del T. blanco podría encontrarse en diversas formas como: N inorgánico (amonio, nitrato), N en compuestos orgánicos, N en la biomasa microbiana, o perderse por distintas vías (lixiviación volatilización, etc.). Por otra parte, la caña de sorgo presenta una evolución del N totalmente opuesta. Es claro y persistente el fenómeno de inmovilización de N en el rastrojo de la caña de sorgo por los microorganismos (hongos). Por otra parte, Morón (1999) informa que la relación C/N inicial o el contenido de N inicial pueden ser buenos predictores de las velocidades de liberación de N de diferentes rastrojos. Debe tenerse presente que de acuerdo con la metodología utilizada (*litter bag*) no se determinó los cambios del N en el suelo que rodea al rastrojo.

Quemada & Cabrera (1995) realizando un trabajo detallado sobre la dinámica del N en el proceso de descomposición de diferentes rastrojos demostraron que también existe una inducción a la inmovilización microbiológica del N en el suelo que rodea el rastrojo de baja calidad. Por tanto, el seguimiento de la evolución del N en los rastrojos constituye una parte de los cambios. Es probable que en la evolución del N en el rastrojo caña de sorgo comentado anteriormente, a la inmovilización de N en el rastrojo también se le sumara la inmovilización de N en el suelo circundante, inducido por compuestos orgánicos liberados durante el proceso de descomposición. De esta información se deduce la necesidad de sincronizar en el tiempo la oferta de N desde el suelo y la demanda de N por parte del cultivo. La presencia de altas cantidades de rastrojos de baja calidad en momentos de alta demanda de N por el cultivo, puede provocar mermas de rendimiento debido a déficits de N. Aspectos relacionados con el concepto de sincronía fueron discutidos por Myers et al (1997).

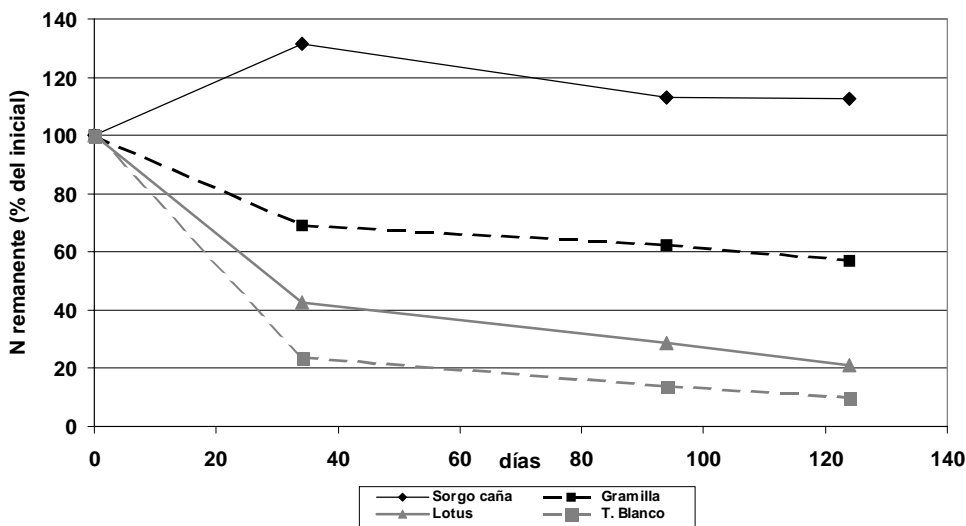


Figura 6. Evolución de la cantidad de N presente en diferentes rastrojos enterrados, comenzando su descomposición en el invierno de 1993 en INIA La Estanzuela. El N se expresa en términos relativos a la cantidad de N presente en cada rastrojo al comienzo del proceso de descomposición.

Schomberg et al (1994b) compararon la descomposición y la dinámica del N en diferentes rastrojos en Texas (USA). En la Figura 7 se presenta la evolución del N en el rastrojo de trigo cuando éste se encuentra enterrado y en superficie. Parece claro que la lenta descomposición de los rastrojos en superficie resulta en un gran potencial para inmovilizar N por largos períodos. La principal explicación para esta tendencia está dada por el hecho de que los rastrojos en superficie se encuentran en microambientes de descomposición más desfavorables que cuando son enterrados. Los rastrojos en superficie tienden a favorecer relativamente el desarrollo de los hongos frente a las bacterias (Schomberg et al 1994a; Cochran et al 1994, Guggenberger et al, 1999). Por tanto, los rastrojos en superficie como ocurre en los sistemas de siembra directa además de producir ritmos de descomposición más lentos, también promoverían altos niveles de inmovilización de N.

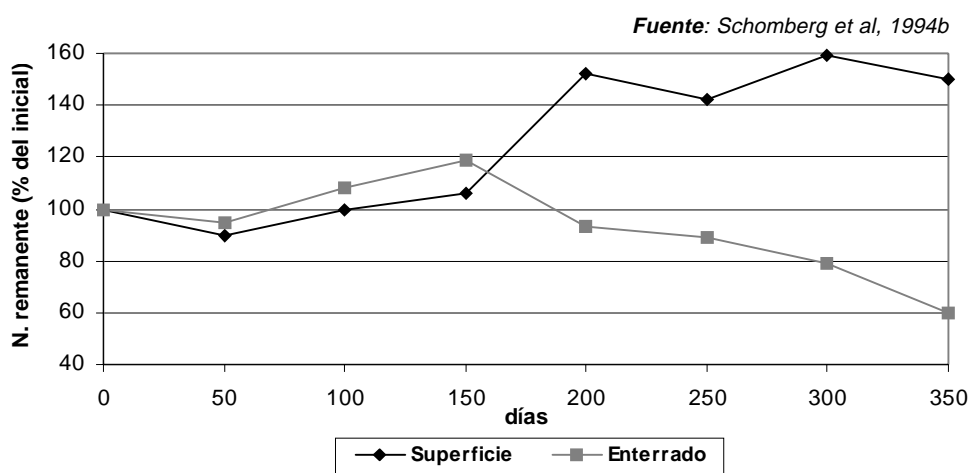


Figura 7. Evolución del contenido de N en rastrojo de trigo enterrado y en superficie .

La utilización del N presente en los rastrojos por los sucesivos cultivos ha sido motivo de numerosos estudios. Según Kumar & Goh (2000) la recuperación de N reportada en diversos trabajos, con metodología de N¹⁵, osciló entre 50% (leguminosas) y 12% (no leguminosas) de la recuperación lograda por varias fuentes de fertilizantes nitrogenados. La inmovilización de N en formas orgánicas en el suelo fue más importante cuando el N provenía de las leguminosas que de los fertilizantes.

Otro elemento de orden práctico que debe considerarse es que la distribución de los rastrojos de la cosecha de los cultivos puede ser desuniforme en cantidad y calidad. Esto originaría heterogeneidad en el proceso de descomposición y liberación de N. Andriulo y Cordone (1998) informan de la importancia de esto en la agricultura de la pampa húmeda Argentina. Augsburg (1998) discute la mejor forma de utilización de cosechadoras y accesorios (picador / desparramador de paja, desparramador de casullos) para lograr uniformidad en la distribución de los diferentes rastrojos.

En reciente revisión, Martens (2000), informa que en USA existe una tendencia de revertir suelos destinados a la producción de maíz en siembra directa hacia diferentes métodos que incluyen laboreo. Manifiesta que esto es una tendencia general en USA y particularmente en la zona de Iowa en los últimos años de la década del 90'. La principal razón sería una disminución del rendimiento de maíz en los sistemas de siembra directa frente a sistemas de laboreo convencional. Esta disminución de rendimientos estaría

fuertemente asociada a déficits de N en etapas tempranas del cultivo producto de un fuerte proceso de inmovilización de N.

Acidez

La acidez del suelo, medida en términos de pH, es un importante parámetro que está relacionado con diversos aspectos químicos y biológicos de la fertilidad del suelo. Valores de pH ácidos o muy ácidos pueden determinar la presencia de elevadas concentraciones de aluminio y/o manganeso en la solución del suelo con efectos tóxicos sobre cultivos y pasturas. También puede afectar negativamente el proceso de la fijación biológica de nitrógeno en las leguminosas o determinar el déficit de un micronutriente como el molibdeno. Por otra parte, valores elevados de pH pueden estar asociados con presencia de CaCO_3 (carbonato de calcio) y/o elevadas concentraciones de Na (sodio). El Na puede provocar importante deterioro en las propiedades físicas del suelo. También valores elevados de pH pueden afectar negativamente la disponibilidad de micronutrientes como el Fe (hierro) y el Zn (zinc).

El efecto del agregado de materia orgánica fresca al suelo, llámese rastrojos de cultivos o pasturas, en el pH del suelo es un proceso complejo y a veces no muy claramente entendido. Es conocido el efecto de acidificación del suelo provocado por el crecimiento de las leguminosas (Williams, 1980; Haynes, 1983; Bolan, 1989). Este efecto es atribuido a la fijación biológica de N que provoca la liberación de H^+ y dependiendo de la especie de leguminosa considerada, entre 37 y 49 mg de H^+ son producidos por cada gramo de N fijado (Marschner, 1995).

Debe distinguirse el efecto del crecimiento de las leguminosas antes mencionado con el efecto del agregado de rastrojos en el pH del suelo. El efecto del agregado de diversos materiales orgánicos en condiciones controladas muestra que el pH del suelo puede incrementar, disminuir o no ser afectado (Pocknee & Sumner, 1997). El balance cationes-aniones del material vegetal es señalado como un factor importante que puede afectar el pH del suelo y que presenta importantes diferencias entre especies y partes de las plantas (Pierre & Banwart, 1973). El balance entre cationes y aniones definido como excesos de bases ($\text{EB} = [\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}] - [\text{Cl} + \text{S} + \text{P} + \text{N} - \text{NO}_3]$) y expresado en miliequivalentes/100 g de material vegetal puede variar hasta siete veces entre distintos materiales vegetales. En términos generales las monocotiledóneas tienen menor EB que las dicotiledóneas (Pierre & Banwart, 1973).

En las plantas el exceso de cationes respecto de los aniones inorgánicos es balanceado por la síntesis de aniones orgánicos. Estos tienen la capacidad de neutralizar la acidez de los suelos y la toxicidad del aluminio (Miyazawa et al, 2000). En reciente trabajo, Tang & Yu (1999) demostraron que el efecto de alcalinización de los rastrojos de leguminosas está relacionado positivamente con el exceso de cationes y la concentración de N, y negativamente con el valor de pH inicial del suelo. Estos autores concluyen que para minimizar los efectos acidificantes a nivel de producción, deben agregarse rastrojos y especialmente aquellos que posean altas concentraciones de excesos de cationes

Balance de carbono en el suelo

Existen diferentes definiciones de la materia orgánica del suelo. En forma pragmática, Anderson & Ingram (1993), definieron a la materia orgánica del suelo como todo material orgánico que pasa por un tamiz de 2 mm. La importancia de la materia orgánica como constituyente del suelo está dada por su asociación con propiedades físicas (densidad aparente, estructura, aireación y drenaje, consistencia), químicas y biológicas (actividad biológica, fuente de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, poder *buffer*, combinación con moléculas orgánicas) lo cual le confiere al mismo mayores potenciales de producción. Debe mencionarse que la importancia de la materia orgánica del suelo

trasciende el interés agronómico. Esta constituye un *pool* dinámico que integra el ciclo general del carbono y que se relaciona con el CO_2 atmosférico el cual se relaciona con el denominado efecto invernadero. La materia orgánica del suelo es considerada el indicador simple más importante para definir la calidad del suelo (Larson & Pierce, 1991).

En condiciones naturales el nivel de materia orgánica de un suelo es función del clima, vegetación, topografía, material madre y tiempo. En la Figura 8 Ladd & Martin (1984) esquematizaron los diferentes flujos de carbono en un ecosistema de pasturas. El balance de C del suelo, principal constituyente de la materia orgánica, es la diferencia entre las entradas y las salidas de C del *pool* denominado materia orgánica del suelo. Debe considerarse que los balances del C orgánico tienen una fuerte relación con el tipo de suelo y especialmente con la textura del mismo. Generalmente los suelos de textura más fina tienen altos contenidos de C orgánico (Burke et al, 1989). La principal explicación estaría dada por la mayor capacidad de protección que obtienen los compuestos orgánicos frente al ataque microbiano en suelos de textura pesada. Hassink et al (1993) discuten los mecanismos de protección de la textura en la materia orgánica para suelos de diferente composición granulométrica.

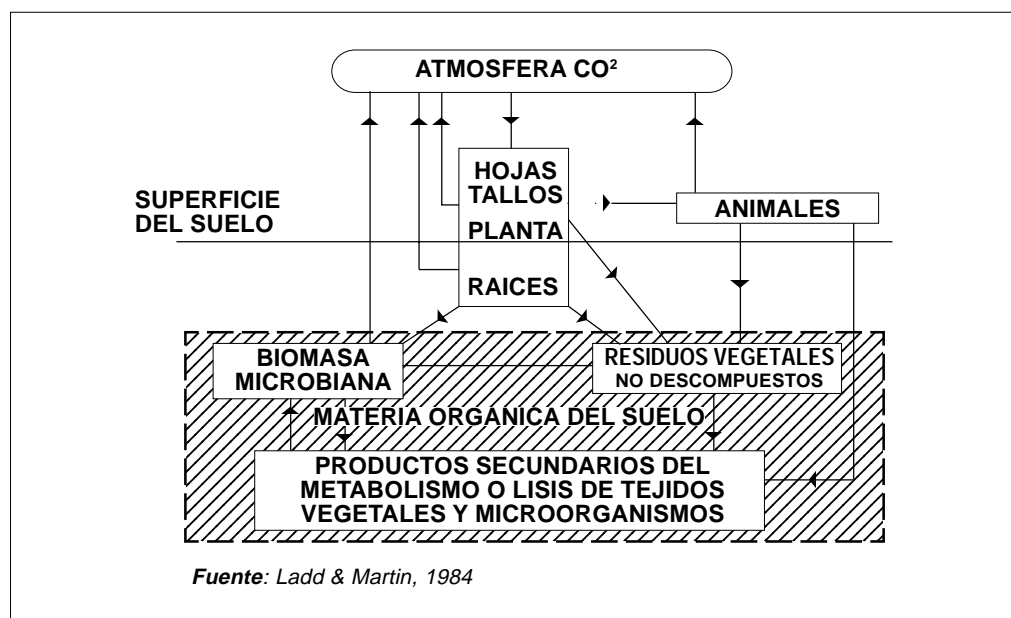


Figura 8. Dinámica del carbono en un ecosistema de pasturas utilizadas por animales

En un sistema agrícola las entradas de C están dadas por los rastrojos, raíces y exudados radiculares mientras que las salidas son las pérdidas por erosión y mineralización (C-CO_2). En la Figura 9 se observa un modelo simple (Jenkinson, 1988), de dos compartimentos, de la dinámica del carbono en el suelo. Es claro que los rastrojos cumplen una función clave en el balance de la materia orgánica del suelo en la medida que constituyen un componente central en las entradas de carbono. Rasmussen & Collins (1991) y Paustian et al (1995) reportaron relaciones lineales positivas entre la cantidad de residuos entrados al suelo y el nivel de materia orgánica del mismo (Figura 10). Una forma de evaluación del pasaje del compartimento «H» al «C», denominado «fA» en la Figura 9, es el coeficiente de humificación. Este cuantifica la fracción del carbono («f» en el modelo) que en el período de un año pasa a formas

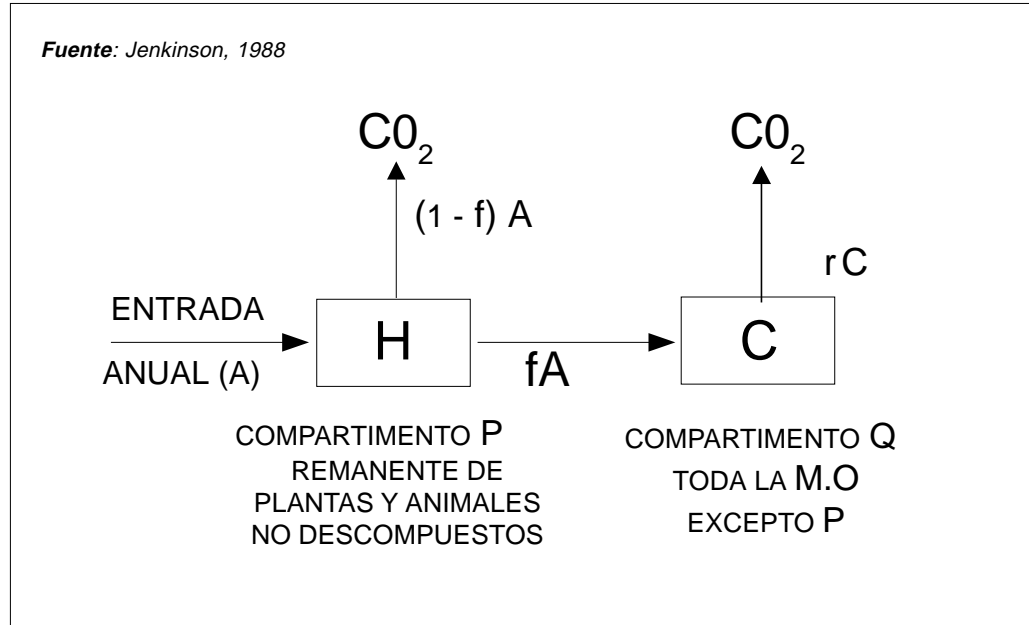


Figura 9. Modelo del ciclo del carbono en el suelo. La fracción de A que entra al compartimento Q cada año es f. H y C son las cantidades de carbono orgánico en los compartimentos P y Q respectivamente, r es la fracción del C orgánico más humificado que se descompone cada año.

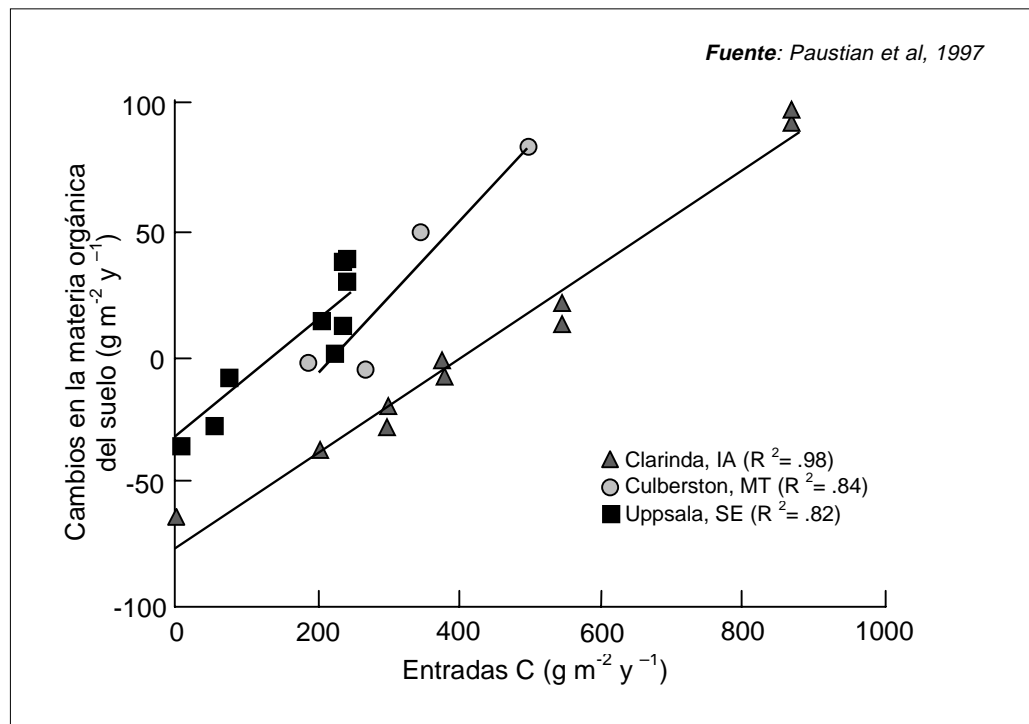


Figura 10. Relación entre la cantidad de rastrojos agregados y el cambio en el C orgánico del suelo de distintos experimentos.

orgánicas más estables y que permanecen como tales por varios años. Buyanovsky & Wagner (1997) reportan para Missouri (USA) valores de 0,20 para la parte aérea de trigo y 0,24 para el sistema radicular del mismo. Las definiciones del coeficiente de humificación no son homogéneas. Así, Wolf & Janssen (1991) utilizan como definición del coeficiente de humificación la fracción de los rastrojos que permanece en el suelo después de un año. Estos autores sobre la base de la definición anterior y a información de Kolenbrander (1974) presentan un rango de coeficientes de humificación para carbono desde un mínimo de 0,26 para material verde hasta máximos de 0,87 para residuos de coníferas.

En condiciones de mínima o nula erosión el equilibrio de la materia orgánica del suelo se alcanza cuando $fA = rC$, siendo «r» la fracción del carbono de la materia orgánica del compartimiento «C» que se mineraliza anualmente. En promedio, para suelos utilizados con laboreo convencional de zona templada, el carbono de la materia orgánica del suelo se descompone a una tasa anual de 2 a 5 % (Rasmussen & Collins, 1991; Wolf & Janssen, 1991; Buyanovsky & Wagner, 1997)

El uso y manejo del suelo tiene importantes efectos, negativos o positivos, en el contenido de materia orgánica del suelo (Jackman, 1964; Jenkinson, 1988; Dalal & Mayer, 1986; Johnston, 1991; Cambardella & Elliott, 1992; Díaz Rosello, 1992; Studdert et al, 1997; Lal, 2000). Generalmente, cuando un suelo es cultivado con laboreo convencional el nivel de materia orgánica del suelo disminuye debido a que una parte de la producción es removida, la erosión se incrementa y se aceleran los procesos microbiológicos de mineralización de la materia orgánica. El efecto de la rotación de cultivos anuales en la materia orgánica del suelo está dado principalmente por la cantidad de rastrojos que se producen y se devuelven al suelo. Paustian et al (1997) resumen información de la cantidad promedio de rastrojos que devuelven al suelo distintos cultivos en los Estados Unidos. Se destacan claramente el maíz y el sorgo por su alta producción de rastrojos, siendo esto mínimo en el cultivo de la soja. Para la agricultura de la pampa húmeda Argentina, Andriulo y Cordone (1998), destacan el aporte cuantitativo de los rastrojos de los cultivos de maíz y girasol frente a los de trigo, soja de primera y soja de segunda. El efecto positivo de la inclusión de pasturas de gramíneas y leguminosas en rotación con cultivos sobre la materia orgánica del suelo ha sido reportado en información nacional (Díaz-Roselló, 1992; Baethgen et al, 1994; Morón, 1996). Podrían señalarse varias razones para el efecto positivo de las pasturas convencionales: a) menor erosión, b) menor mineralización de la materia orgánica del suelo, c) mayor aporte de rastrojos, especialmente de los sistemas radiculares de las gramíneas, y d) un *input* importante de N originado en la fijación biológica de las leguminosas.

Es ampliamente aceptado que los productos de la degradación de la lignina y compuestos nitrogenados son los mayores constituyentes de la materia orgánica humificada y estable del suelo (Paustian et al, 1995). La entrada de rastrojos con alta concentración de lignina y la adición de nitrógeno puede ser una opción de manejo que conduzca al incremento del carbono del suelo (Sowden & Atkinson, 1968; Paustian et al, 1992).

La siembra directa o siembra sin laboreo introduce cambios importantes en la dinámica y balance de C en el suelo. Los cambios significativos son producidos por: a) rastrojos en superficie, y b) no movimiento o no laboreo del suelo. Esto tiene varias consecuencias: 1) reducción de la erosión debido fundamentalmente a los rastrojos en superficie que protegen al suelo de la acción de la lluvia; 2) reducción de la tasa de descomposición de los rastrojos, que corresponde al CO_2 que sale del compartimiento «P» del modelo de la Figura 8. Este tema ya fue abordado en el punto "Descomposición y cambios en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo" ; 3) disminución de la mineralización de la materia orgánica del suelo debido a una menor aireación y menor accesibilidad de los microorganismos a la misma. Corresponde al CO_2 que sale del compartimiento «Q» del modelo de la Figura 9; 4) incremento relativo de los hongos en los sistemas de siembra directa (Schomberg et al 1994a; Cochran et al 1994, Guggenberger et al, 1999); y 5)

incremento de la estratificación de la materia orgánica en su distribución vertical a favor de los primeros centímetros del suelo. En síntesis, puede sostenerse que el efecto de la siembra directa en el balance del C orgánico es la tendencia a disminuir las pérdidas.

En la Figura 10 se ejemplifican parte de los conceptos manejados anteriormente. Se observa la mineralización del C orgánico de los rastrojos y de la materia orgánica del suelo según laboreo y temperatura en un trabajo realizado en INIA La Estanzuela. En 1997 en un suelo caracterizado como Brunosol Eutríco con un manejo anterior de rotación cultivo-pastura, que en 1996 comenzó a ser sembrado sin laboreo, se tomaron 12 muestras de suelo a una profundidad de aproximadamente 6 cm con cilindros metálicos de 6 cm de diámetro por 10 cm de altura. La humedad del suelo se encontraba próxima a la capacidad de campo. La mitad de las muestras fue mantenida en los cilindros simulando la situación indisturbada (no laboreo) y la otra mitad fue sacada del cilindro para realizar un desmenuzamiento manual (rotura por agregados naturales) para luego retornar el suelo al cilindro. La desagregación manual fue semejante a una buena preparación mediante laboreo convencional de suelo para siembra de semilla fina. Los cilindros con suelo indisturbado y con suelo "laboreado" fueron introducidos en frascos de vidrio herméticos con una solución de NaOH para captar el CO₂. Esto fue evaluado a dos temperaturas: 15 °C y 30 °C. Como se constata en la Figura 11 los tratamientos con «laboreo» sistemáticamente producen más CO₂ que los tratamientos indisturbados.

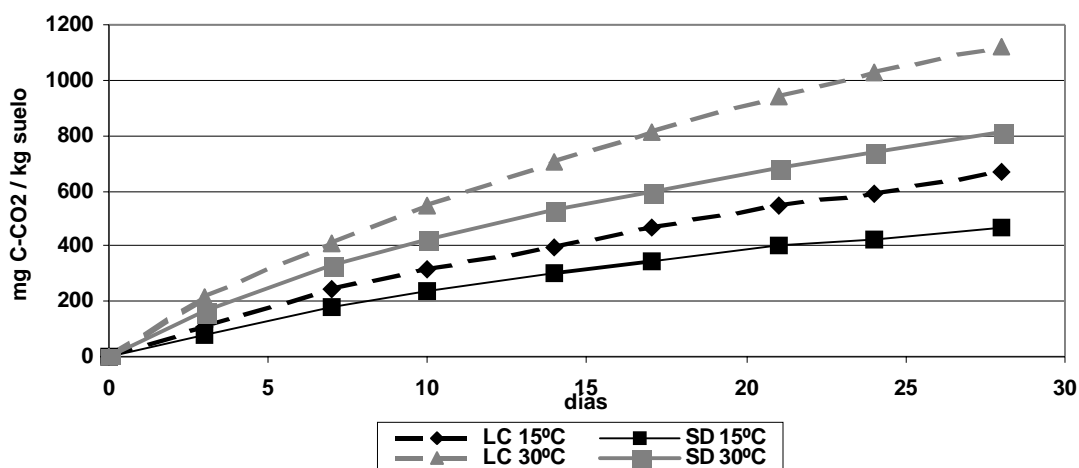


Figura 11. Evolución del C-CO₂ en condiciones indisturbadas (SD) y con desagregación manual (LC) en un Brunosol Eutríco de INIA La Estanzuela a 15 y 30 °C.

Paustian et al (1997a) resumieron la información del efecto de la siembra directa frente al laboreo convencional en el balance del C orgánico, de un conjunto de diferentes experimentos de largo plazo de diferentes autorías, dentro de la agricultura de zona templada. La información del contenido de C orgánico fue expresada por unidad de superficie. Se consideró la concentración de C orgánico en el suelo y la densidad aparente del mismo, ambos hasta una profundidad de 30 cm. En la Figura 12 se presenta la comparación en diferencias porcentuales. Parece claro que para la amplia mayoría de las situaciones la siembra directa logró un balance más positivo que el laboreo convencional.

Debido a los conceptos involucrados, cabe mencionar los resultados de un modelo de evolución del C orgánico del suelo desarrollado por Lucas et al (1977) citado por Cole et al (1987). Este fue desarrollado para la producción de maíz, con pérdidas de suelo por erosión (8000 kg/ha) en las condiciones de Michigan (USA). En la Figura 13 se aprecian

los cambios en el C orgánico en un suelo franco para tres niveles de producción de maíz. Surgen dos conceptos importantes: 1) a iguales pérdidas por erosión para las tres situaciones, el nivel productivo y concomitantemente los niveles de rastrojo generados en cada situación, determinan diferentes niveles de equilibrio ($y = 0$) del C orgánico en el suelo; 2) dado un nivel productivo y por ende un valor de C orgánico de equilibrio para el sistema productivo considerado, se podrá ganar o perder C orgánico dependiendo de cual es el valor del cual se parte. Según la Figura 13 si se estableciera un sistema de producción de maíz con 5.000 kg de rendimiento de maíz, el suelo tendría un valor de equilibrio de C orgánico próximo de 1.5 %. Si se partiera de valores de 1% de C orgánico se tendrían ganancias de C decrecientes hasta alcanzar el valor de equilibrio de 1,5%. Por otra parte, si se partiera de valores de 2% de C orgánico se tendrían pérdidas decrecientes hasta alcanzar el valor de equilibrio de 1,5%.

Figura 12.
Comparación
relativa del nivel de
C orgánico en el
suelo en diversos
experimentos de
largo plazo en los
cuales se evaluaron
laboreo
convencional y
siembra directa.

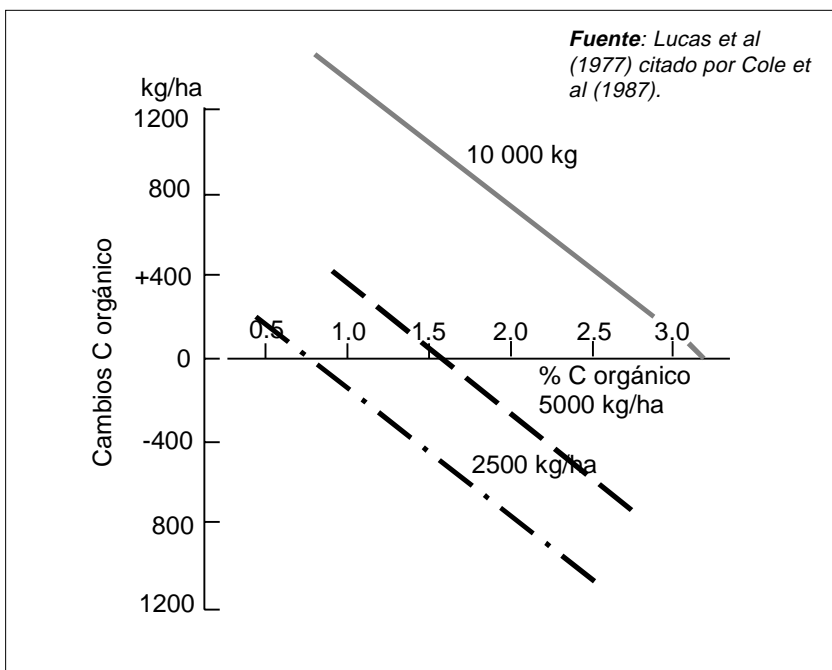
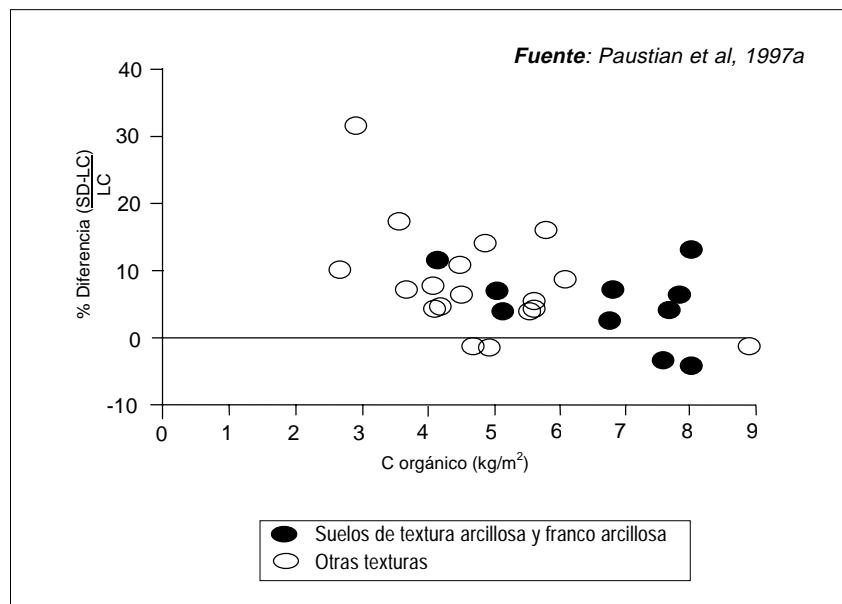


Figura 13. Modelo
de simulación de
los cambios
anuales del C
orgánico del suelo
en función de los
rendimientos de
los sistemas
agrícolas de
producción de
maíz en Michigan
(USA).

A partir de extensas y documentadas revisiones de resultados experimentales de largo plazo, así como de los resultados de modelos de simulación, Paustian et al (1997a, 1997b) sintetizan las medidas prácticas en el manejo de los rastrojos que tienen influencia positiva en el balance de C en el suelo. Estas son: 1) incrementar el tiempo del suelo con vegetación, 2) reducir o eliminar el laboreo, 3) aumentar la producción y retornar los rastrojos al suelo, 4) incluir gramíneas perennes y leguminosas, y 5) en la selección de los cultivos incluir maíz y sorgo.

Literatura citada

- ACOSTA, Y. 1994. Estimadores del valor nutritivo para producción de leche. **In:** Guía para la Alimentación de Rumiantes. Capítulo II. Serie Técnica 55 INIA La Estanzuela. p. 41-50.
- ALEXANDER, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. Second Edition. John Wiley & Sons. 467 p.
- ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S.I. ed. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods. Wallingford, Oxon, CAB International.
- ANDRIULO, A. y CORDONE, G. 1998. Impacto de Labranzas y Rotaciones Sobre la Materia Orgánica de Suelos de la Región Pampeana Húmeda. **In:** Panigatti, J.L.; Marelli, H.; Buschiazzi, D.; Gil, R. ed. Siembra Directa. Cap 5 p 65-96
- AUGSBURGER, H.K.M. 1998. Maquinaria para Siembra Directa en Sistemas Agrícola-Ganaderos. Serie Técnica INIA La Estanzuela 99. 87p.
- BAETHGEN, W. E.; MORÓN, A. and DÍAZ-ROSELLO, R.M. 1994. Modeling long-term soil organic carbon changes in six cropping systems of SW Uruguay. Transaction 15th World Congress of Soil Science (Acapulco, México). Volume 9: supplement p.300-301.
- BLASER, R.E; HAMMES, R.C.; FONTENOT, J.P.; BRYANT, H.T.; POLAN, C.E.; WOLF, D.D.; MCCLAUGHERTY, F.S.; KLINE, R.G. and MOORE, J.S. 1986. Forage-Animal Management Systems. Virginia Polytechnic Institute and State University. Bulletin 86-7. 90p.
- BOLAN, N.S.; HEADLY, M.J. and WHITE, R.E. 1989. Nitrogen fertilizer use, fixation and soil acidification. **In:** White, R.E.; Currie, L.D. ed. Nitrogen in New Zealand Agriculture and Horticulture. Proceedings, Palmerston North, Massey University, p. 88-103.
- BURKE, I.C.; YONKER, C.M.; PARTON, W.J.; COLE, C.V.; FLACH, K. and SCHIMEL. 1989. Texture, Climate, and Cultivation Effects on Soil Organic Matter Content in U.S. Grassland Soils. Soil Science Society of America Journal 53: 800-805.
- BUYANOVSKY, G.A. and WAGNER, G.H. 1997. Crop Residue Input to Soil Organic Matter on Sanborn Field. **In:** Paul, E.A., Elliott, E.T.; Paustian, K.; Cole, C.V. ed. Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. Cap 4 p.73-102.
- CAMBARDELLA, C.A. and ELLIOTT, E.T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal 56:777-783.
- COCHRAN, V.L.; SPARROW, S.D. and SPARROW, E.B. 1994. Residue Effects on Soil Micro- and Macroorganisms. **In:** Unger, P.W. ,ed. Managing Agricultural Residues. Cap 9 p.163-184.

- COLE, C.V.; WILLIAMS, J., SHAFER, M. and HANSON, J. 1987. Nutrient and organic matter as components of agricultural production systems models. **In:** Soil Fertility and Organic Matter as Critical Components of Production Systems. Proceedings. Madison. SSSA. Special Publication N° 19. p. 147-166.
- DALAL, R.C. and MAYER, R.J. 1986. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. I. Overall changes in soil properties and trends in winter cereals yields. *Australian Journal of Soil Research*, 24: 265-279.
- DÍAZ ROSELLO, R. 1992. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. **In:** Morón, A.; Baethgen, W. ed. *Revista INIA Investigaciones Agronómicas* 1(1):103-110.
- GUGGENBERGER, G.; FREY, S.D.; SIX, J.; PAUSTIAN, K. and ELLITT, E. 1999. Bacterial and Fungal Cell-Wall Residues in Conventional and No-Tillage Agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 63:1188-1198.
- HASSINK, J.; BOUWMAN, L.A.; ZWART, K.B.; BLOEM, J. and BRUSAARD, L. 1993. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma* 57:105-128.
- HAYNES, R.J. 1983. Soil acidification induced by leguminous crops. *Grass and Forage Science* 38:1-11.
- HOLLAND, E.A. and COLEMAN, D.C. 1987. Litter placement on microbial and organic matter dynamics and agroecosystems. *Ecology* 68: 425-433.
- JACKMAN, R.H. 1964. Accumulation of organic matter in some New Zealand soils under permanent pasture. I Patterns of organic carbon, nitrogen, sulphur, and phosphorus. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 7: 445-471.
- JENKINSON, D.S. 1988. Soil organic matter and its dynamics. **In:** Alan Wild, ed. *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*. 11th Harlow, Essex, UK. p.564-607
- JOHNSTON, A.E. 1986. Soil organic matter, effects on soil and crop. *Soil Use and Management*. V2(3):97-105.
- KUMAR, K. and GOH, K.M. 2000. Crop residues and Management Practices: Effects on Soil Quality, Soil Nitrogen Dynamics, Crop Yield, and Nitrogen Recovery. *Advances in Agronomy* 68:197-319.
- LADD, J.N. and MARTIN, J.K. 1984. Soil organic matter studies. **In:** L'Annunziata, M.F.; Legg, J.O. ed. *Isotopes and radiation in agricultural sciences*. Academic Press, V1 Cap3 p.67-98.
- LAL, R. 2000. World Cropland Soils as a Source or Sink for Atmospheric Carbon. *Advances in Agronomy* 71: 145-191.
- LARSON, W.E. and PIERCE, F.J. 1991 Conservation and enhancement of soil quality. **In:** Evaluation for sustainable land management in the developing world. V 2 IBSRAM Proc. 12(2) International Board for Soil Research and Management, Bangkok, Thailand.
- MARTENS, D.E. 2000. Nitrogen Cycling Under Different Soil Management Systems. *Advances in Agronomy* 70 : 143-192.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. London, Academic Press, 889 p.

- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. e FRANCHINI, J.C. 2000. Moléculas orgánicas relacionadas a química e a fertilidade do solo. **In:** Biodinâmica do Solo. FERTBIO 2000. 22-26 Octubre 2000, Santa María-RS, Brasil. CD ROOM.
- MORÓN, A. 1996. Dinámica de la Materia orgánica en los Sistemas Productivos Agropecuarios. **In:** Curso de Actualización en Fertilidad de Suelos. Facultad de Agronomía - Universidad de la República. Tomo 1:29-39.
- _____ ; 1999. Descomposición de Rastrojos de Cultivos y Pasturas. **In:** Curso de Actualización Técnica Siembra Sin Laboreo de Cultivos y Pasturas. Facultad de Agronomía (EEMAC), INIA, PROCISUR. CD ROOM.
- _____ y BAETHGEN, W. 1995. Decomposition and nutrient release from crop and pasture residues in contrasting agricultural production systems. Proceedings Driven by Nature. Plant Litter Quality and Decomposition. Wye College, University of London. p.82.
- MYERS, R.J.K.; NOORDWIJK, M. VAN and VITYAKON, P. 1997. Synchrony of Nutrient Release and Plant Demand: Plant Litter Quality, Soil Environment and Farmer Management Options. **In:** Cadisch, G.; Giller, K.E. Driven by Nature p.215-229. CAB international, Wallingford, U.K.
- PAUSTIAN, K.; ANDRÉN, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; VAN NOORDWIJK, M. and WOOMER, P.L. 1997b. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management* 13: 230-244
- _____ ; COLLINS, H.P. and PAUL, E.A. 1997a. Management Controls on Soil Carbon. **In:** Paul, E.A., Elliott, E.T.; Paustian, K.; Cole, C.V. ed. *Soil Organic matter in Temperate Agroecosystems*. Cap 2 p.15-49.
- _____ ; PARTON, W.J. and PERSSON, J. 1992. Modeling soil organic matter in organic-amended and N-fertilized long-term plots. *Soil Science Society of America Journal* 56:476-488.
- _____ ; ROBERTSON, G.P. and ELLIOTT, E. 1995. Management impacts on carbon storage and gas fluxes (CO₂, CH₄) in mid-latitude cropland ecosystems. **In:** Lal, R., Kimble, J., Levine, E.; Stewart, B.A. ed. *Soil Management and Greenhouse Effect*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. p.69-83
- PIERRE, W.H. and BANWART, W.L. 1973. Excess-Base and Excess-Base/Nitrogen Ratio of Various Crop Species and Parts- *Agronomy Journal* 65: 91-96
- POCKNEE, S.; SUMNER, M.E. 1997. Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. *Soil Science Society of America Journal* 61: 86-92.
- QUEMADA, M. and CABRERA, M.L. 1995. Carbon and Nitrogen Mineralized from Leaves and Stems of Four Cover Crops. *Soil Science Society of America Journal* 59: 471-477.
- RASMUSSEN, P.E. and COLLINS, H.P. 1991. Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Advances in Agronomy* 45: 93-134.
- SCHOMBERG, H.H., FOERD, P.B. and HARGROVE, W.L. 1994a. Influence of Crop Residues on Nutrient Cycling and Soil Chemical Properties. **In:** Unger, P.W., ed. *Managing Agricultural Residues*. Cap 6 p 99-121.

- SCHOMBERG, H.H.; STEINER, J.L. and UNGER, P.W. 1994b. Decomposition and Nitrogen Dynamics of Crop Residues: Residues Quality and Water Effects. *Soil Science Society of America Journal* 58: 372-381
- SIQUEIRA, J.O. and FRANCO, A. A. 1988. *Biotechnologia do Solo. Fundamento e Perspectivas*. Ministerio de Educação. Brasil. 235 p.
- SOWDEN, F.J. and ATKINSON, H.J. 1968. Effect of long-term annual additions of various organic amendments on organic matter of a clay and sand. *Canadian Journal of Soil Science* 48: 323-330.
- STEVENSON, F.J. 1986. *Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulphur, Micronutrients*. New York, Wiley. 380 p.
- STUDERT, G.; ECHEVERRÍA, H. and CASANOVAS, E.M. 1997. Crop-pasture Rotation for Sustaining Quality and Productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Science Society of America Journal* 61: 1466-1472
- TANG, C.; YU, Q. 1999. Impact of chemical composition of legume residues and initial soil pH on pH change of a soil after residue incorporation. *Plant and Soil* 215: 29-38.
- WOLF, J. and JANSSEN, H.J.M. 1991. Effects of changing land use in the Netherlands on net carbon fixation. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 39: 237-246
- WILLIAMS, C.H. 1980. Soil acidification under clover pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 20: 561-567.

Comunidad microbiana en suelos en siembra directa

por Arnaldo Colozzi Filho*, Diva De Souza Andrade* y Elcio Liborio Balota**

Introducción

Los rastrojos bien manejados pueden influir positivamente en el aumento de la biota del suelo, que comprende una comunidad de organismos que reúne el macro, meso y micro fauna y la microbiota. Estos organismos realizan importantes procesos bioquímicos relacionados a la descomposición de la materia orgánica y reciclaje de nutrientes, entre otros. De su actividad resultan alteraciones en las propiedades físicas y químicas del suelo, con reflejos en la productividad de los cultivos y en la sustentabilidad del agrosistema. La población microbiana es compuesta por algas, hongos, actinomicetos, bacterias y virus, y su presencia y actividad en el suelo son condicionadas por componentes físicos del suelo (mineralogía, humedad, aireación y temperatura) y químicos (pH y fertilidad), que están directamente relacionados con el manejo del suelo y de los cultivos en los agrosistemas. El cultivo modifica el suelo, cambiando sus propiedades a través del preparo (labranza y gradagem), del uso de los abonos orgánicos o químico, cobertura vegetal y de la utilización de plantas recuperadoras.

La siembra directa (SD) es un sistema donde las semillas son colocadas directamente sobre los residuos del cultivo anterior, sin ninguna preparación del suelo (labranza y gradagem). La permanencia de los residuos de los cultivos en la superficie del suelo lo protege contra la erosión en el período entre dos cultivos. Sin embargo, la cobertura también puede reducir las temperaturas y influye sobre la retención de agua en el suelo, en períodos calientes y de estiaje prolongada. Cuando el suelo es manejado en siembra directa, ocurre un acúmulo de nutrientes y residuos de los cultivos en las capas más superficiales. Además del aumento de productividad de las culturas promovido por la siembra directa, y beneficios relacionados a la sustentabilidad del agrosistema, poco se conoce sobre la participación de la microbiota en los efectos observados, y cuál es su contribución para el sistema. El presente trabajo tiene como objetivos relatar los resultados experimentales basados en las investigaciones sobre población microbiana y su actividad en suelos en siembra directa obtenidos en el Campo Experimental del Instituto Agrônomo do Paraná-IAPAR, en Paraná, Brasil. También son presentadas las implicaciones de las alteraciones en la población microbiana y su actividad con el reciclaje de nutrientes debido a las prácticas agrícolas.

* Eng. Agr. Ph.D., Área de Solos, IAPAR. C.P-481, CEP86001-970, Londrina, Pr-Brasil. E-mail: acolozzi@pr.gov.br

** Biólogo Ph.D. Área de Solos, IAPAR. CEP86001-970, Londrina, Pr-Brasil.

Población y actividad de microorganismos relacionados a la descomposición y al reciclaje de nutrientes en el suelo

Descomposición de residuos vegetales

La descomposición de residuos es realizada a través de la acción mecánica de quiebra o a través de la acción de enzimas. Estos procesos son mediados por la acción de varios grupos de organismos de macro y meso fauna y microorganismos del suelo. Como resultado de la descomposición ocurre el reciclaje del carbono orgánico, del nitrógeno orgánico disponible como amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), y del P, S y varios micronutrientes. Durante la descomposición ocurre, simultáneamente, la liberación de nutrientes contenidos en los compuestos orgánicos y la inmovilización de nutrientes del suelo en la biomasa, para atender la demanda nutricional de la biota. La “mineralización” o “inmovilización líquida” son de gran interés para la fertilidad del suelo y nutrición de las plantas.

La principal limitación para la actividad de descomposición de la población microbiana en el suelo es la disponibilidad de N, o su relación con el tenor de C disponible del suelo (relación C/N). Cuando adicionamos un residuo orgánico al suelo, la microbiota es estimulada, aumentando la respiración (tasa de liberación de CO_2) y la demanda por elementos minerales, especialmente el NO_3^- , que puede ser absorbido en grandes cantidades por los microorganismos. Cuando la relación C/N es mayor que 30, la tasa de inmovilización será mayor que la tasa de mineralización. Entre 20 y 30, la inmovilización se iguala a la mineralización. Para valores menores que 20, la tasa de mineralización será mayor.

En siembra directa, la relación C/N asume una importancia mayor porque la descomposición de los residuos vegetales puede ocurrir durante todo el ciclo de desarrollo de la planta, del plantío a la cosecha, y en algunos momentos pueden ocurrir deficiencias de N para las plantas, ocasionadas por una inmovilización temporaria en la biomasa microbiana. La microbiota de descomposición también es influenciada por la calidad y cantidad de residuos, como fue observado por Andrade et al. (1993b) en el Norte de Paraná, Brasil. Los residuos de leguminosa (lupino), con mayor concentración inicial de carbohidratos y de N y menor relación C/N, proporcionaron un incremento en la población de microorganismos celulolíticos y descomposición más rápida, independiente del sistema de plantío. La tasa de mineralización líquida del nitrógeno en rastrojos de lupino, en kg de N/ha en 130 días, fue de 54 en la siembra directa y de 82 en la labranza tradicional, mientras, que para los rastrojos de trigo fue de 7 en la siembra directa y de 13 en la labranza tradicional. Durante el período de evaluación se observó una reducción media de 71% en los residuos culturales en la labranza tradicional y una reducción de apenas 38% en la siembra directa.

El potencial de mineralización de la materia orgánica depende de diversos factores como temperatura, humedad, aireación, pH, fertilidad, factores relacionados con la mineralogía y la materia orgánica del suelo (cantidad y calidad de los residuos adicionados) y del manejo. Por lo tanto, la capacidad del suelo en suplir nutrientes para las plantas no puede ser considerada homogénea. A través de la labranza tradicional, aumenta la superficie de contacto entre los residuos y la población de agentes de descomposición, por la trituration de los residuos promovida por el arado y por el enterramiento del material orgánico, además de crear condiciones físico-químicas adecuadas, que aceleran la descomposición de los residuos. En la siembra directa no ocurre la trituration e incorporación de los residuos, así, resulta que la descomposición, la tasa de mineralización de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes es más lenta.

Microorganismos relacionados con la fijación biológica de N₂ (FBN)

El N combinado en la materia orgánica del suelo, la fijación biológica del N₂ además de la adición de fertilizantes nitrogenados constituyen las principales fuentes de N a las plantas. La FBN es realizada por bacterias de la familia Rhizobiaceae en simbiosis con leguminosas que, en una estructura radicular denominada nódulo, producen una enzima capaz de quebrar la triple ligación del N₂ atmosférico y lo transforma en una forma prontamente utilizable por la planta.

El N suministrado vía fijación biológica favorece la preservación ambiental, porque no produce pérdidas por lixiviación o volatilización, disminuyendo la polución de los ríos y lagos causada por la fertilización, y también evita el uso de fuentes fósiles no renovables utilizadas en la producción de los fertilizantes. Con el proceso de FBN en la cultura de la soja, se calcula que en Brasil se economizan billones de dólares por año. Sin embargo, para que el balance de N en el suelo sea positivo y se obtenga una mayor producción de las leguminosas de granos y un buen mantenimiento de la fertilidad del suelo para otros cultivos en rotación o en secuencia. Estas plantas deberán dejar más nitrógeno en el suelo (obtenido vía fijación) que la cantidad de nitrógeno exportado en los granos cosechados (Giller & Wilson, 1991).

La siembra directa mejora las condiciones para los microorganismos fijadores simbióticos de nitrógeno, y así aumenta la diversidad de especies, favoreciendo sus multiplicaciones en los suelos y consecuentemente pueden aumentar la FBN. Aumentos significativos en la nodulación del frijol (masa de nódulos) y el número de células de *Bradyrhizobium japonicum* y/o *B. elkanii*, (Figuras 1a y 1b), evaluadas por el método del número más probable (NMP) en soja, fueron observados en suelos cultivados en siembra directa, en experimentos de larga duración conducidos en el Campo Experimental del Instituto Agronômico do Paraná-IAPAR en Londrina (Andrade & Voss, 1991; Andrade et al., 1993a; Ferreira et al., 2000). También Voss & Sidiras (1985) observaron un incremento del 70% en el número de nódulos de soja y mejor distribución porcentual de nódulos con la profundidad en los suelos cultivados en siembra directa, lo que contrasta con el bajo número observado en labranza tradicional.

En extractos de suelo cultivados en siembra directa se observó un aumento expresivo en la concentración de compuestos fenólicos, inductores de los genes que expresan la nodulación (*nod*) de *B. japonicum*, y también en la actividad de la β-galactosidasa que evalúa, indirectamente, la actividad inductora de los genes *nod*. La concentración de los compuestos fenólicos en suelo cultivado en siembra directa fue, en promedio, 35,42 mg C/g de suelo, mientras, que en los suelos cultivados en labranza tradicional los contenidos fueron de 31,01 mg C/g de suelo (Andrade et al., 1993a).

Una mayor diversidad en el número de padrones genómicos de las poblaciones de bradirrizobio nodulando la soja fue observada también en siembra directa (Figura 1c) (Ferreira et al., 2000). La mayor diversidad, sobrevivencia y/o multiplicación del rizobio/bradirrizobio en el suelo cultivado en siembra directa puede ser resultado de modificaciones en las condiciones físicas (humedad, temperatura, agregación), de fertilidad (acúmulo de materia orgánica y de fósforo en la superficie y mayor inmovilización de N en los residuos) y biológicas (mayor biomasa y actividad microbiana) que se suman y crían condiciones más propicias a la FBN.

Otros grupos de microorganismos relacionados al nitrógeno (N) en el suelo

El N mineralizado a través de la descomposición de la materia orgánica del suelo puede ser absorbido por las plantas o empleado por los propios microorganismos (inmovilización), siendo liberado al suelo después de la muerte de la microbiota. La

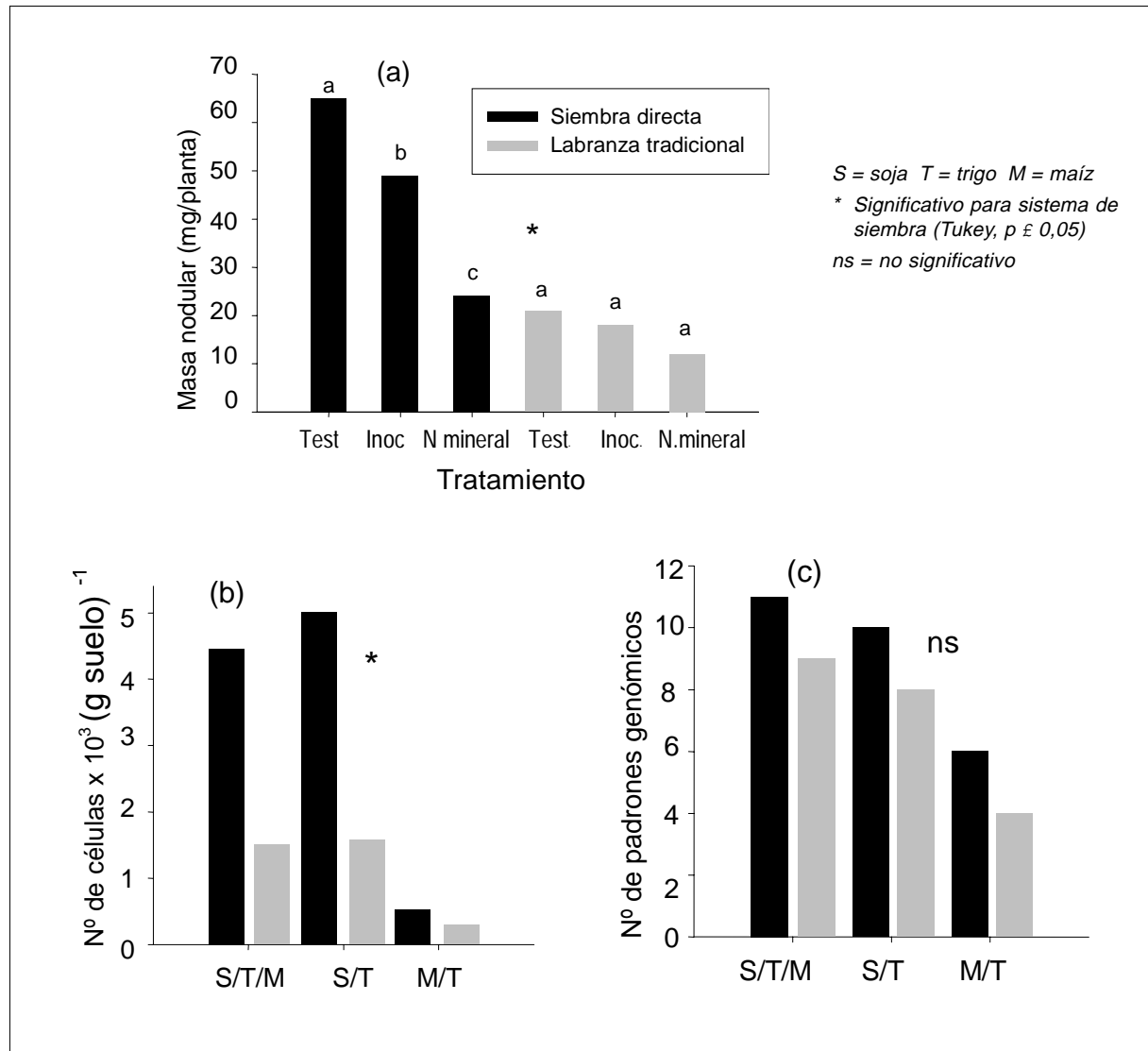


Figura 1. (a) Nodulación del frijol cultivado después de avena/trigo (Andrade & Voss, 1991); (b) tamaño de la población de bradirrízobio y (c) padrones genómicos de bradirrízobio identificados con amplificaciones en cadena de la polimerasa (PCR) con 'primers' específicos (Ferreira et al., 2000). Experimentos de larga duración conducidos en LRd, en Londrina, PR.

mineralización está compuesta por la amonificación y la nitrificación. En la amonificación, el amonio es el primer producto resultante de la descomposición de la materia orgánica, y en la nitrificación, el amonio es convertido en nitrito y posteriormente en nitrato por bacterias *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*.

Colozzi-Filho et al. (1999), estudiando grupos de microorganismos relacionados al nitrógeno del suelo en siembra directa observó que bacterias fijadoras de nitrógeno asociativas (*Azospirillum* sp), microorganismos amonificadores y las bacterias nitrificadoras también fueran favorecidos por la siembra directa (Figura2a). También el nitrógeno total, el potencial nitrificante del suelo y las bacterias capaces de oxidar nitrito fueran evaluadas en SD, en diferentes épocas (Cuadro 1). El N total disponible en el suelo fue significativamente mayor en siembra directa en las secuencias de cultivos gramínea/leguminosa, después de la cosecha de verano y en el plantío de invierno, indicando efecto residual del N dejado por la leguminosa. Mayor potencial nitrificante

también fue observado en siembra directa y en las secuencias gramínea/leguminosa. La mayor población de los microorganismos oxidantes del nitrato refleja la disponibilidad de N orgánico en el suelo (Cuadro 1). Como la leguminosa, además de fijar N₂ en asociación con el rizobio, tiene residuos vegetales de mejor calidad (C/N y otros compuestos orgánicos), también estimula la microbiota relacionada al nitrógeno en el suelo. Así, para la siembra directa el empleo de secuencias de cultivos con leguminosas puede ser el método más eficiente para reciclaje de N para otras plantas del sistema.

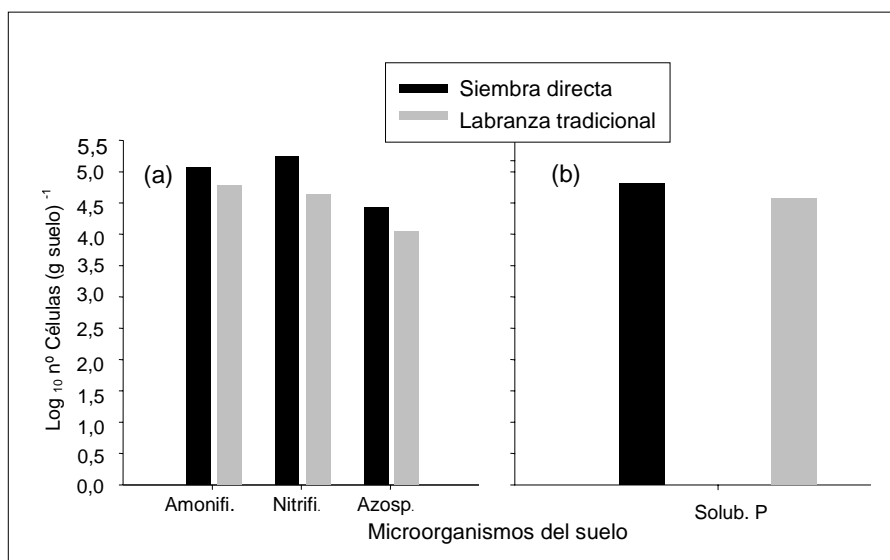


Figura 2. Número de microorganismos que participan del ciclo del N (a) amonificadores, nitrificadores y *Azospirillum sp* y (b) solubilizadores de P. Los valores representan datos medios de 72 evaluaciones. (Colozzi-Filho et al., 1999).

Cuadro 1. Nitrógeno total (NO₃⁻ + NH₄⁺) en mg (g suelo seco)⁻¹; potencial nitrificante (mg NO₃⁻) y bacterias oxidantes del nitrato (log₁₀ del n° de células (g de suelo)⁻¹) en función de las secuencias y de los sistemas de cultivos en Londrina, PR-Brasil.

Secuencia de cultivos	Abril/90 ^{1/}		Junio/90		Octubre/90	
	SD ^{2/}	LT	SD	LT	SD	LT
N-total del suelo (NO₃⁻ + NH₄⁺)						
Trigo/soja	27,1a	14,6b	18,3a	8,5b	4,2	1,2
Trigo/maíz	12,2a	10,8 ^a	5,5a	4,2a	2,6	1,3
Potencial nitrificante (mg NO₃⁻)						
Trigo/soja	147a	70b	96	27	133	155
Trigo/maíz	108a	71b	107	38	155	137
Bacterias oxidantes nitrato						
Trigo/soja	4,90	4,15	2,73a	3,41a	4,46	4,30
Trigo/maíz	4,72	3,86	2,77a	3,18a	3,32	4,23

^{1/} Épocas de evaluaciones; ^{2/}SD = siembra directa y LT = labranza tradicional. Medias seguidas de la misma letra en la horizontal no difieren estadísticamente entre sí (Tukey p<0,05).

Microorganismos relacionados al fósforo (P) en el suelo

El P es uno de los elementos químicos más importantes porque es parte de las moléculas de DNA y RNA y participan en la transferencia de energía como parte de las moléculas de ADP y ATP. Sin embargo, el P es uno de los elementos que más limitan la reproducción y la productividad, porque, generalmente las concentraciones de P en los organismos son superiores a aquellas de donde el P es retirado. En suelos de las regiones tropicales y subtropicales, debido a las reacciones de absorción con el coloide, el P es limitante para la agricultura, exigiendo mayores adiciones de fertilizantes fosfatados.

El papel de los microorganismos es de gran importancia en las etapas de mineralización de compuestos orgánicos de P, inmovilización de P inorgánico en la biomasa, solubilización de fosfatos, en la oxidación y reducción de compuestos inorgánicos de P. También, la micorrización es importante porque altera el status de P disponible a las plantas.

En siembra directa no hay revolvimiento del suelo, entonces, reduce el contacto del P con el coloide disminuyendo las reacciones de adsorción. Por otro lado, las fertilizaciones son realizadas en la superficie del suelo, sobre los rastrojos o en la línea de siembra, tornando importante la actividad de microorganismos de descomposición y solubilizadores de P y de las micorizas. La mineralización lenta de los residuos, promovida por la actividad de descomposición de la microbiota, resulta en liberación gradual de formas orgánicas de P más estables y menos susceptibles a las reacciones de adsorción.

Microorganismos solubilizadores de fosfatos

Microorganismos solubilizadores de fosfatos son encontrados en la mayoría de los suelos, siendo su población variable en función del suelo, vegetación natural, pH, temperatura, contenido de materia orgánica, presencia de fosfato natural y otros factores. Los resultados obtenidos en el IAPAR, en experimento de SD de larga duración muestran alto número de bacterias con capacidad de solubilizar fosfatos (Figura 2b). Los valores medios observados en 12 evaluaciones durante tres años, no evidencian diferencias significativas de acuerdo con la preparación del suelo. Además, en el suelo cultivado en siembra directa hubo menor oscilación entre los valores medios del número de células obtenidas en las diferentes épocas evaluadas (siembra y cosecha de cultivos de invierno y verano), mientras que en siembra con labranza tradicional se observó variación acentuada en la población entre los períodos evaluados, con mayor número de microorganismos solubilizadores de P siempre después de la cosecha. Estos resultados muestran que la siembra directa promueve condiciones del suelo menos estresantes para la actividad de solubilizadores, por tanto, más próximo de las condiciones de suelo observadas, por ejemplo, en una mata nativa, que puede ser definida como un ecosistema en equilibrio.

Micorrizas arbusculares (MA)

Micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas formadas entre algunos hongos del suelo y raíces de la mayoría de las plantas superiores. Plantas micorrizadas tienen sus requerimientos nutricionales reducidos cuando son comparadas con aquéllas no micorrizadas. Estos efectos son más acentuados para nutrientes que son de baja movilidad en suelo como P, Zn y Cu para la mayoría de las plantas, y para el N en las leguminosas. Según Siqueira & Moreira (1996), en las condiciones de suelos brasileros, la contribución de la micorrización para suplir fósforo en algunas culturas, fueron equivalentes a la adición de 20 kg ha⁻¹ para la *Brachiaria* (planta menos dependiente de la micorrización) y más de 200 kg ha⁻¹ para los estilosantes, que son plantas dependientes

de las micorrizas. Así, los hongos micorrízicos arbusculares favorecen la nodulación y fijación biológica del N_2 , principalmente en condiciones de bajo P. La mejor absorción de nutrientes por las raíces resulta principalmente del aumento del área de superficie de las raíces micorrizadas, que pueden tener hasta 1,5m de hifas por cm de raíz colonizada. Esas hifas se desarrollan en el suelo, y cuando la difusión es limitante, pueden representar aumentos de hasta 60 veces en la superficie y absorción del nutriente. La red de hifas que los hongos MA forman en el suelo pueden conectar diferentes plantas y transferir los nutrientes, permitiendo así que especies poco competitivas coexistan (Varma, 1994).

La preparación del suelo altera el equilibrio de la población microbiana, favoreciendo o inhibiendo grupos de organismos relacionados a la actividad de los hongos MA. Como por ejemplo, la desestructuración y la mayor aireación del suelo provocada por la labranza puede favorecer el desarrollo de microartrópodos y pequeños animales del suelo, por ejemplo, predadores de hifas y esporos de hongos MA. Además, otros microorganismos que en general tienen relaciones sinérgicas con los hongos MA, como solubilizadores de fosfatos, rizobio (Balota et al., 1996) y las bacterias productoras de enzimas hidrolíticas que facilitan la penetración de las raíces por los hongos MA, también pueden ser afectados por la labranza del suelo y actuar negativamente en la micorrización. Los efectos de los disturbios ocasionados por la preparación del suelo en la micorrización varían con el suelo y con la preparación ejecutada, pero también están principalmente relacionados con la disponibilidad de propágulos infectivos para el restablecimiento de la colonización en el próximo cultivo.

La preparación del suelo es el más directo y drástico estrés cultural que actúa sobre la formación de las micorrizas. Primeramente, con la retirada de la vegetación ocurre una quiebra en el flujo de exudados de las raíces y en la disponibilidad de fotoasimilados, afectando la población de hongos MA nativos. Cuando el suelo es desestructurado por la labranza y gradagem, la red de hifas de hongos MA es fragmentada por la acción mecánica de los implementos sobre el suelo y el contenido celular de las hifas puede ser extravasado, disminuyendo el potencial de infectividad natural del suelo. Además, el revolvimiento del suelo provocado por la labranza puede dejar los propágulos (esporas, hifas y parte de raíces colonizadas) en la superficie del suelo expuestos a la acción de altas temperaturas y de insectos predadores que los pueden inviabilizar. La siembra directa y la rotación de cultivos pueden aumentar el potencial de inóculo natural de los hongos MA en el suelo (Colozzi-Filho, 1993).

En suelos cultivados con las secuencias trigo/soja, trigo/maíz y trigo/algodón en labranza tradicional (una labranza y dos gradagens) o en siembra directa, la colonización radicular del trigo fue mayor cuando fue cultivado en siembra directa. Sin embargo, según Colozzi-Filho & Balota (1997) la esporulación de los hongos MA fue mayor en el suelo con labranza tradicional (Cuadro 2).

La mayor estabilidad del sistema micorrízico en suelos cultivados con siembra directa resulta en las relaciones más equilibradas entre la comunidad microbiana. Sin embargo, si no hay revolvimiento del suelo, la red de hifas externas y de las raíces colonizadas en el suelo se quedan intactas, consecuentemente posibilitan la micorrización de los cultivos subsecuentes debido a la manutención del potencial infectivo natural del suelo. La mayor colonización observada en las raíces del trigo cultivado en siembra directa demuestra la importancia del inóculo. Diversos estudios demuestran que las alteraciones en los suelos agrícolas reducen el desarrollo de las MA, y tienen consecuencias para la nutrición, productividad y sustentabilidad de los agrosistemas (Siqueira, 1994).

La reducción en la colonización radicular de las plantas observada cuando se preparó el suelo refleja las alteraciones provocadas en el potencial de inóculo natural del suelo con la preparación. Es posible que la mayor esporulación observada en labranza tradicional se relacione a la estabilidad del agrosistema. Como resultado del manejo

Cuadro 2. Número de esporas de hongos micorrízicos arbusculares en suelo en labranza tradicional (una labranza y dos rastreadas) o en siembra directa (sin preparación). Medias de nueve evaluaciones (Colozzi-Filho & Balota, 1997).

Tipos de Plantío	Después del cultivo de invierno	Después del cultivo de verano
Labranza tradicional	4.874 A ¹	4.114 A
Siembra directa	3.577 B	3.487 B
C.V. (%)	21	26

1. *Medias seguidas de la misma letra en las columnas no difieren estadísticamente (Tukey 5%). Datos transformados para $\bar{O}x + 0,5$.*

intensivo de los agrosistemas, el equilibrio de los componentes del sistema micorrízico en los suelos puede ser perdido. Según Siqueira (1994), sistemas agrícolas altamente manejados seleccionan los hongos MA, y esta selección, la mayoría de las veces, es para la sobrevivencia y no para la eficiencia simbiótica. Como la sobrevivencia de hongos MA en situación de estrés se relaciona con las estructuras de propagación y resistencia, es posible que la preparación del suelo tenga seleccionada especies más adaptadas a las situaciones de estrés cultural, y la mayor esporulación puede ser una alternativa del hongo para mantenerse en el sistema.

Las esporas de los hongos MA casi siempre están presentes en el suelo, mientras que con la labranza ocurren efectos negativos sobre el potencial de inóculo natural del suelo cuando es comparado con la siembra directa. Todavía, los efectos sobre la composición de la población de hongos MA y su eficiencia simbiótica precisan ser mejor conocidos. De acuerdo con Bethlenfalvay (1992) establecer relaciones efectivas de labranza del suelo con colonización de raíces por hongos MA es difícil, todavía esta relación puede ser inferida por la disminución en la absorción de P por las plantas cultivadas en suelos labrados. Las micorrizas son la ligación entre las plantas y el suelo. La intensidad de la preparación altera el agrosistema y es posible que altere también la micorrización.

Biomasa y actividad microbiana

La biomasa microbiana (BM), calculada por determinaciones del carbono respirado según Jenkinson & Powlson, (1976), ha sido utilizada para evaluar cambios cuantitativos en la comunidad microbiana del suelo. Por otro lado, la actividad microbiana, determinada a través de la cuantificación del CO₂ producido como resultado del metabolismo de la mayoría de los microorganismos en el suelo, también puede ser una determinación sensible. A pesar de ser difícil establecer relaciones entre esas determinaciones y la productividad de los cultivos, ambas pueden servir como indicadores de la actividad biológica del suelo y, consecuentemente de la fertilidad.

En la siembra directa ha sido observado un aumento en la biomasa microbiana y en su actividad en Latossolo Rojo distrófico (LRd), en Paraná, Brasil, después de 16 años de cultivo de maíz y soja en secuencia con el trigo (Balota et al., 1998). Este aumento fue significativo para BM en las diversas épocas evaluadas para la secuencia trigo/soja y después la cosecha de verano para la secuencia trigo/maíz (Figura 3).

También la actividad microbiana, determinada por la medida del CO₂ liberado, fue mayor en el suelo en siembra directa, presentando valores de respiración basal 70% mayores a los observados en labranza tradicional. En siembra directa no ocurre inversión de las capas del suelo, que sumada a los abonos y a la deposición de residuos vegetales desarrollan condiciones benéficas para el desarrollo de la comunidad microbiana y su

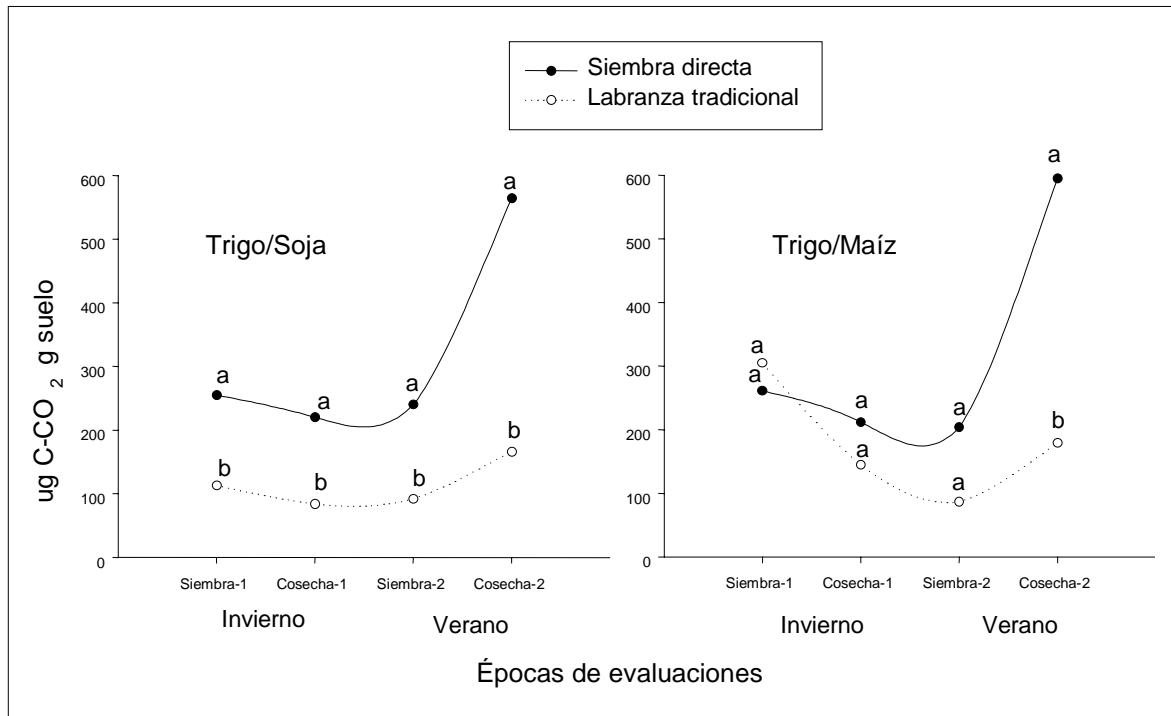


Figura 3. Carbono de la biomasa microbiana en función de la labranza tradicional y de siembra directa. Londrina, Brasil. Valores medios de tres repeticiones seguidos por la misma letra, dentro de la secuencia y misma época, no difieren (Tukey $p < 5\%$.) (Colozzi-Filho et al., 1999).

mayor actividad. Follet & Schimel (1989) relatan aumentos de hasta 72% en la biomasa microbiana de carbono (BMC) y aumentos de hasta 62% en la biomasa microbiana de nitrógeno (BMN) en suelos con siembra directa en Nebraska, EEUU. En los pampas argentinas, Alvarez et al. (1995) citan aumentos en la BMC de 300% en suelos en siembra directa. La importancia práctica del aumento de la BM en el suelo es que mayores cantidades de C, N, P y otros nutrientes están siendo transitoriamente inmovilizados en los tejidos microbianos, evitándose pérdidas de nutrientes por lixiviación, fijación u otras. Sin embargo, la importancia de la participación de los microorganismos en el reciclaje de los nutrientes es resaltada porque, además de los procesos de mineralización, también puede tener efecto como fuente controladora de nutrientes para el sistema suelo-planta.

El cociente metabólico (qCO_2), que corresponde a la cantidad del CO_2 liberado por unidad de biomasa microbiana producida por unidad de tiempo, indica la eficiencia de la población microbiana en retener o incorporar carbono en la biomasa o lo libera para la atmósfera en forma de CO_2 . Mayor qCO_2 representa mayores pérdidas de carbono para la atmósfera en la forma de CO_2 por unidad de biomasa microbiana producida, siendo el inverso verdadero. La incorporación de rastrojos en el suelo aumenta el qCO_2 (Ocio & Brookes, 1990). Todavía, Insam et al. (1991) relatan que en áreas con mayor C puede ocurrir aumento de la BM y disminución en la actividad metabólica. En siembra directa esta relación es observada. Balota et al. (1998) relataron mayor biomasa microbiana en suelos en siembra directa. Todavía, se observó que el qCO_2 fue en media 28% menor con relación a la labranza tradicional, en cuatro épocas, mostrando que hubo incorporación de C y otros nutrientes como N y P en la biomasa microbiana. Las variaciones en la BM y en el qCO_2 , en función de la preparación del suelo, pueden ocurrir debido a las diferencias en la accesibilidad al sustrato de C por los microorganismos y/o cambios en los padrones metabólicos o mismo debido a las

alteraciones en la composición de la microbiota ocasionadas por la preparación del suelo y por la planta que están cultivando (Alvarez et al., 1995).

Además, estudiando la BM en rotación de cultivo maíz/soja, con diferentes abonos verdes de invierno en secuencia y en siembra directa y tradicional, en el suroeste de Paraná-Brasil, Balota et al. (1996) observaron variaciones en la BM de acuerdo con el abono verde cultivado y en función del tipo del manejo empleado. La siembra directa aumentó en 100% la BM en comparación a la labranza tradicional. La reducción en el $q\text{CO}_2$, en función de la siembra directa, fue en promedio del 40%. Todavía, en el mismo experimento los autores observaron que, en el suelo cultivado con Vicia peluda el $q\text{CO}_2$ varió, mientras que la Vicia común en siembra directa ha mostrado aumento en el $q\text{CO}_2$. Según los autores estos resultados sugieren estímulo diferenciado en la BM en función del cultivo de diferentes plantas. Es posible que Vicia peluda y Vicia común seleccionen microorganismos más agresivos en cuanto al crecimiento en situación de menor estrés de cultivo en siembra directa, promoviendo mayores pérdidas de C- CO_2 del suelo vía respiración. Estos resultados indican la importancia de conocer el efecto de las plantas sobre la BM y su actividad en los suelos. Sin embargo, el manejo del suelo debe ser asociado con el manejo de los cultivos. En general, cuando se recomiendan programas con abonos verdes, rotación o cultivo intercalar, se trata de maximizar la actividad microbiana en los suelos, con el empleo de plantas que estimulen la biomasa.

El carbono de la biomasa microbiana forma parte del C orgánico lábil y representa del 1 hasta 5% del C orgánico total del suelo. Todavía, la relación $C_{\text{mic}}:C_{\text{org}}$ puede variar de 0,27% hasta 7,0% (Anderson & Domsch, 1989). Esta variación se debe a las diferencias del suelo, manejo, coberturas vegetales, así como variaciones en la maduración y condiciones analíticas de los métodos empleados. Los cambios en la relación $C_{\text{mic}}:C_{\text{org}}$ reflejan el tipo de entrada de MO en los suelos, la eficiencia de la conversión del C microbiano, las pérdidas del C del suelo y la estabilización del C orgánico por la fracción mineral del suelo (Sparling, 1992). La relación $C_{\text{mic}}:C_{\text{org}}$ puede indicar que el carbono está en equilibrio, acumulando o disminuyendo (Anderson & Domsch, 1989; Insam, 1990).

En el Estado de Paraná, Brasil, después de 16 años de cultivo, valores medios de la relación $C_{\text{mic}}:C_{\text{org}}$ (carbono da BM: C total) del suelo fueran de 0,58 hasta 2,09 para labranza, y de 1,24 a 3,65, para la siembra directa, siendo que, el $C_{\text{mic}}:C_{\text{org}}$ en suelo cultivado en siembra directa fue en promedio 95% mayor en comparación con la labranza tradicional (Balota et al., 1998). Valores de la relación de $C_{\text{mic}}:C_{\text{org}}$ que expresan equilibrio son de 2,3 para monocultivos y 4,4, para rotación de cultivos (Anderson & Domsch, 1989). Valores mayores o menores significan acúmulo o pérdidas de C del suelo, respectivamente. La relación $C_{\text{mic}}:C_{\text{org}}$ puede ser considerada como un indicador de las alteraciones en la materia orgánica en función del manejo del suelo. Así mismo, factores ambientales también deben ser considerados en estas interpretaciones.

Conclusiones

La biota del suelo actúa de modo significativo sobre diversos procesos en el suelo relacionados con la reciclaje de nutrientes, descomposición de residuos orgánicos, fijación biológica de nitrógeno, solubilización de P y otros nutrientes y también en la absorción de P a través de la micorrización.

Las prácticas de siembra directa y rotación/secuencia de plantas alteran la biota del suelo y su actividad, y estos efectos han sido observados como benéficos para la comunidad microbiana y algunas poblaciones de microorganismos como ejemplo, los celulolíticos, solubilizadoras de fosfato, fijadoras de nitrógeno, amonificadoras y también la micorrización.

El manejo de microorganismos de interés agrícola comprende diversas estrategias, entre otras, técnicas de labranza conservacionistas y la rotación/secuencia de cultivos como herramientas de manejo efectivas para incrementar la actividad microbiana del suelo.

Literatura citada

- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J. & BLOTTA, L. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil & Tillage Research*, v.33,p.17-28.
- ANDERSON, T.-H. & DOMSCH, K.H. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology & Biochemistry*, v.21, p.471-479.
- ANDRADE D.S.; COLOZZI FILHO, A. & MEDEIROS, G.B. 1993b. Decomposição da palha de culturas de inverno em solos sob plantio direto e convencional. **In:** Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, 1, 1993, Ponta Grossa. Resumos. Ponta Grossa. p.36.
- _____; BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A. & HUNGRIA, M. 1993a. População microbiana em solos sob plantio direto ou convencional com soja, milho e trigo. **In:** Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, 1, 1993, Ponta Grossa. Resumos, Ponta Grossa. p.35.
- _____; VOSS, M. 1991. Nodulação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob sistemas de plantio convencional e direto e em sucessão trigo e aveia. **In:** Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo, XXIII, 1991, Porto Alegre. Resumos, Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 200.
- BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S. & COLOZZI FILHO, A. 1996a. Avaliações microbiológicas em sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas. **In:** Congresso Brasileiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável, 1, 1996, Ponta Grossa. Anais..., Ponta Grossa. p.9-11.
- _____; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. 1998. Atividade microbiana em sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v:22,p.641-649.
- BETHLENFALVAY, G.J. 1992. Mycorrhizae and crop productivity. **In:** Bethlenfalvay, G.J.; Linderman, R.G. (Ed.). *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. Madison, ASA Spec. Publ. p 1-28.
- COLOZZI-FILHO, A. 1991. Efeito do sistema de cultivo e rotação de culturas sobre a população de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. **In:** Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XXIII, 1991, Porto Alegre. Resumos, Porto Alegre; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p 202.
- _____; BALOTA, E.L. & ANDRADE, D.S. 1999. Microorganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. **In:** Siqueira, J. O.; Moreira, F. M. S.; Lopes; A. S.; Guilherme, L.R.G.; Faquim, V.; Furtini Neto, A. E.; Carvalho, J.G. (Ed). *Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships*. Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Lavras. p.487-508
- _____; ANDRADE, D.S. & BALOTA, E.L. 1993. Esporulação de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em solo sob plantio direto ou convencional e rotação de culturas. **In:** Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, 1, Ponta Grossa, 1993. Resumos, Ponta Grossa. p. 32.

- FERREIRA, M. C.; D. D. S. ANDRADE; CHUEIRE, L. M. DE O.; TAKEMURA, S.M. & HUNGRIA, M. 2000. Tillage method and crop rotation effects on the population sizes and diversity of bradyrhizobia nodulating soybean. *Soil Biology & Biochemistry*, v:32,p.627-637.
- FOLLET, R.F. & SCHIMMEL, D.S. 1989. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Science Society of American Journal*, v:53,p.1091-1096.
- GILLER, K. E. & WILSON. K. F. 1993. *Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems*. Wallingford, CAB International. 313p.
- JENKINSON, D. S. & D. S. POWLSON, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V-A method for measuring soil biomass. *Soil Biology & Biochemistry*, v:8,p.209-213.
- INSAM, H. 1990. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime?. *Soil Biology and Biochemistry*, v:22,p.525-532.
- _____ ; MITCHELL, C.C; DORMAAR, J.F. 1991. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. *Soil Biology and Biochemistry*, v:23,p.459-464.
- OCIO, J.A. & BROOKES, P.C. 1990. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and characterization of the biomass that develops. *Soil Biology & Biochemistry*, v:22,p.685-694.
- SIQUEIRA, J.O. 1994. Micorrizas Arbusculares. **In:** Araujo, R.S.; Hungria, M. (Ed.) *Microrganismos de importância agrícola*. Brasília: Embrapa-SPI. p 151-194.
- _____ ; & MOREIRA, F.M.S. 1996. Microbiologia do solo e a sustentabilidade agrícola: enfoque em fertilidade do solo e nutrição vegetal. **In:** Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, XXII, Manaus, 1996. Palestras, Manaus, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p 1-42.
- SPARLING, G.P. 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, v:30,p.195-207.
- VARMA, A. 1995. Ecophysiology and application of arbuscular mycorrhizal fungi in arid soils. **In:** Varma, A. & Hock, B, (Ed.). *Mycorrhiza. Structure, function, molecular biology and biotechnology*. Berlin, Springer-Verlag. p 561-591.
- VOSS, M. & SIDIRAS, N. 1985. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v:20,p.775-782.



**Tecnologías
según
objetivos
específicos**

Mecanización apropiada para la siembra directa de los pequeños agricultores en el Cono Sur de América

por Jorge Riquelme Sanhueza *

Introducción

De acuerdo con Wall (1998), la información sobre áreas sembradas con siembra directa en pequeñas propiedades en diferentes partes del mundo es escasa. El Cuadro 1 da cuenta del estado de la adopción de la siembra directa en el mundo.

Cuadro 1. Superficie estimada de siembra directa con manejo de residuos en las pequeñas propiedades de algunas regiones del mundo.

Región	Superficie (ha)
Cono Sur de Sudamérica	25.000
India, Bangladesh, Nepal	10.000
México y América Central	menos de 10.000
Africa del Sur	Poco
Africa Occidental	Poco
Africa Oriental	Muy poco
Región Andina	Muy poco

Fuente: Wall (1998).

Si comparamos estas cifras con el nivel de adopción que han conseguido los medianos y grandes productores, llegamos a la conclusión que el grado de adopción por parte de los pequeños agricultores del mundo es muy limitado. Según Wall (1998), existen varias razones para ello, entre las que se incluyen las siguientes:

- Falta de capital para cambiar de maquinaria y tecnología.
- Aversión al riesgo.
- Sistema de producción de subsistencia.
- Utilización de rastrojos para otros fines.

* Dr. Ingeniero Agrónomo, INIA CRI Quilamapu - Chillán - Chile. E-mail:jriquelm@quilamapu.inia.cl.

En Chile de acuerdo con el último censo nacional agropecuario (INE 1997), se puede inferir que existen casi 150.000 productores que trabajan con implementos de tracción animal y sólo 23.000 poseen implementos accionados por tractor. El 13% de los productores con predios mayores de 50 hectáreas son dueños de casi el 90% de la superficie agrícola de Chile. En cambio los propietarios con predios menores de 50 hectáreas y que sólo pueden acceder a implementos manuales o de tracción animal, corresponden al 87% de los productores agrícolas que en total no son más de 312.000. Llama la atención que los propietarios del 90% de la superficie agrícola sólo producen el 38% de las “Chacras”, (alimentos básicos de la dieta de los chilenos). Los pequeños agricultores con sólo el 10% de la superficie agrícola son los responsables del 62% de la producción de alimentos básicos, (papas; choclos; porotos; etc.), de la dieta de los habitantes de Chile.

Por otro lado los pequeños agricultores se ubican en sitios marginales, con altas pendientes no aptos para el desarrollo de una agricultura tradicional, lo que ha traído como consecuencia una alta degradación del suelo, llegando a situaciones en las que actualmente el 70% de los suelos presentan erosión grave.

Actualmente se aplican en algunas de las comunas del país, programas de ayudas estatales, orientados a la reconversión de los pequeños agricultores apoyando mediante subsidios la instalación de equipos de riego donde existan fuentes de aguas disponibles, así como también el manejo de pequeños huertos de vides o frutales que les genere ingresos suficientes, con los cuales puedan comprar alimentos, y de esa manera no tengan que cultivar los suelos y se detengan así los procesos erosivos. Pero la sustentabilidad de este sistema, depende del manejo adecuado de la cobertura del suelo de las microcuencas; las que debido a su manejo tradicional no tienen la capacidad de permitir una infiltración del agua en suelo durante la época de lluvia y el rápido escurrimiento de las aguas con arrastre de sedimentos, pueden colmar rápidamente las estructuras de almacenaje y cosecha de agua. Por ello dentro del sistema apropiado de manejo de estos sistemas, la siembra directa juega un rol importante en conseguir una cobertura permanente así como permitir que los agricultores puedan continuar produciendo sus cultivos tradicionales de fuerte arraigo cultural para ellos.

Se presentan a continuación algunas tecnologías desarrolladas en Chile y otras recogidas en el Cono Sur a través de los programas de capacitación emprendidos gracias al Proyecto Siembra Directa del PROCISUR.

Adecuación de suelo

Una de las principales labores a ejecutar, es revisar bien el potrero donde se efectuará la siembra directa, eliminando los obstáculos que puedan impedir el correcto funcionamiento de la sembradora: piedras, troncos, restos de raíces.

Si el suelo proviene de un sistema de labranza tradicional y presenta muchos surcos de erosión que afectan su microrrelieve, será conveniente efectuar primero una mínima labranza. La mínima labranza se efectúa

con un arado cincel de tracción animal, (Figura 1) el que no invierte suelo y posibilita mejorar el microrrelieve del suelo, para facilitar el paso de la sembradora. El arado cincel de tiro animal efectúa una labor primaria de suelo identificada como labranza vertical, cuya principal característica es soltar el suelo, sin invertir ni mezclar las distintas capas del perfil.

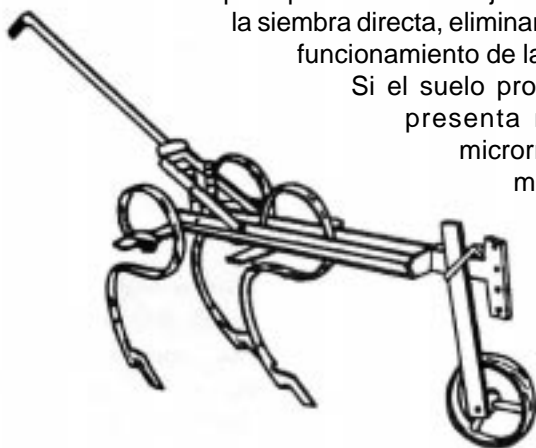


Figura 1. Arado cincel de tracción animal.

El sistema permite una mejor protección del suelo contra la erosión, dado que el rastrojo queda cerca o en la superficie, se evita la formación de una estrata impermeable o pie de arado, y se mejora la infiltración de agua en el suelo.

Desde el punto de vista de la rapidez de la labor, el arado cincel ocupa menos de la mitad del tiempo en arar una hectárea de suelo que el arado de vertedera, dado el mayor ancho de trabajo que se consigue con la labranza vertical.

El arado cincel cuenta con unos vástagos vibrocultores, los que contribuyen a mejorar el tiro de los animales, ya que la vibración absorbe las variaciones del esfuerzo de tracción que se producen durante la labor de estallamiento de suelo, las que en un equipo rígido, mediante los aperos, se transmiten directamente a los animales.

Mediciones de tracción realizadas, durante la labor de un arado cincel de 5 vástagos, trabajando a 12 cm de profundidad, con un ancho de trabajo de 47 cm, en un suelo de origen granítico en condiciones friable, indicaron una necesidad de tracción de 136 kg.; por lo que una pareja de animales resuelve en forma apropiada estos requerimientos.

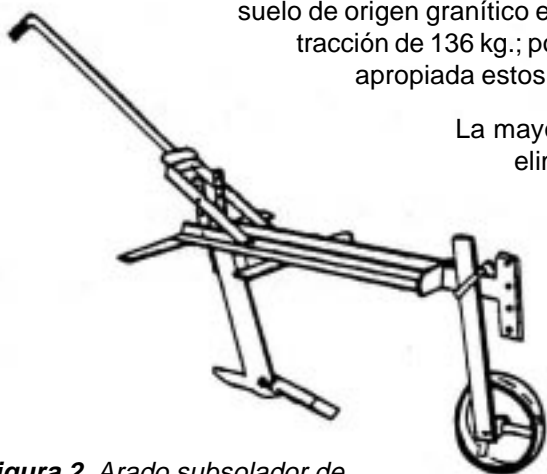


Figura 2. Arado subsolador de tracción animal.

La mayor capacidad de trabajo del arado cincel, permite eliminar la práctica tradicional del barbecho, uno de los principales factores causante de la erosión de suelo, ya que el suelo queda sin una cubierta protectora, que aminore el impacto de la gota de lluvia.

La profundidad de trabajo del arado cincel no llega más allá de 10 cm; por lo tanto, en suelos compactados por el pastoreo animal en invierno o en aquellos que han sido arados durante muchos años con arado de vertedera y se ha formado una estrata compactada denominada: "pie de arado". Es necesario

utilizar una herramienta denominada "subsolador de tracción animal" (Figura 2).

De modo de utilizar correctamente el implemento es conveniente en primer lugar efectuar calicatas en el suelo, para determinar la existencia y profundidad de la estrata compactada. Luego se regula el equipo para conseguir que la punta del subsolador pase justo por el centro de la estrata compactada; se efectúa una primera pasada y se mide el ancho de las grietas formadas; el promedio de los anchos medidos; indicará la distancia de pasada para el equipo.

Esta labor es conveniente efectuarla a comienzos de invierno con las primeras lluvias, o a salida de invierno en una condición tal que el suelo no tenga excesiva humedad. Si hay mucha humedad el suelo no se agrieta, y si está muy seco se incrementa el requerimiento de tracción para los animales.

Mediciones de tracción realizadas con este equipo trabajando a una profundidad de 20 cm, indicaron un requerimiento de tracción de 200 kg. de tiro; demanda de fuerza que sólo puede ser satisfecha utilizando animales pesados y robustos.

La capacidad de trabajo del implemento, depende del ancho de trabajo requerido para la labor. De este modo para un ancho de trabajo de 30 cm, podría requerirse de 15 horas de trabajo para subsolar una hectárea de suelo.

Manejo de rastrojos

Los potreros más adecuados para la cero labranza, son aquellos que provienen de una pradera natural y que no presentan problemas de compactación. En el caso que se trate de rastrojos de cultivos como trigo o avena, es conveniente efectuar una labor de manejo de rastrojos. Los rastrojos se pueden picar con una rastra de disco de tiro animal (Figura 3), trabajando en el verano con el suelo seco.

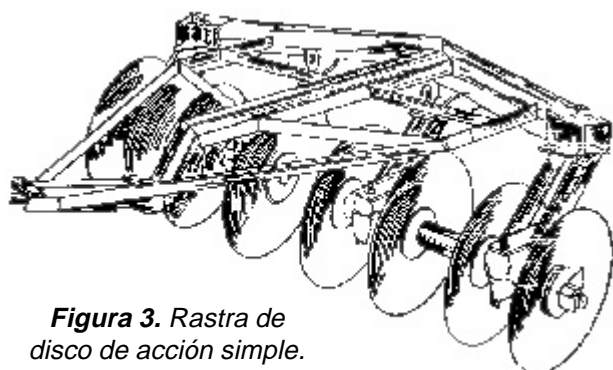


Figura 3. Rastra de disco de acción simple.

También una barra segadora de tracción animal (Figura 4), puede ser muy útil en el corte de los rastrojos.

Figura 4. Segadora de tracción animal asistida con motor de 5HP.

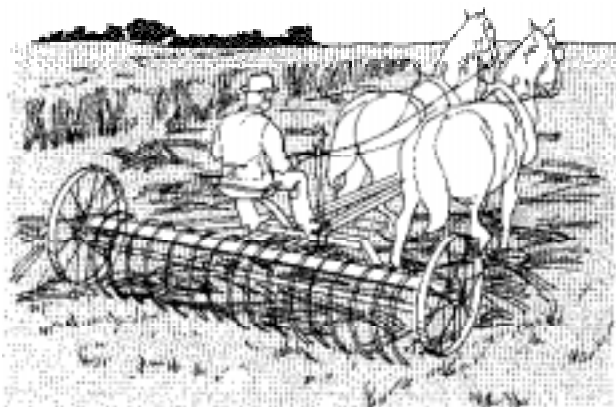
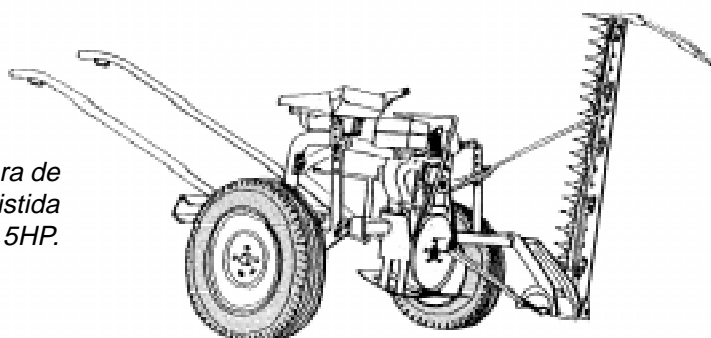
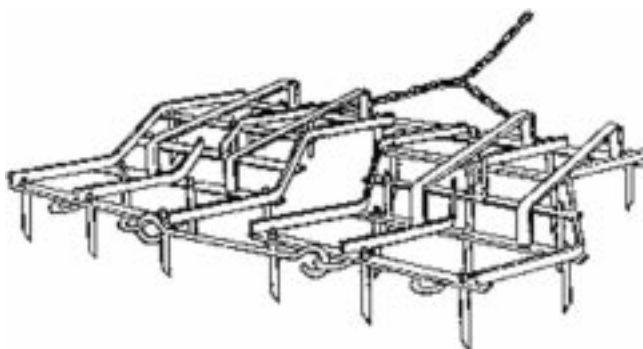


Figura 5. Rastrillo de tracción animal con volteo manual.

Después de picar los rastrojos, éstos se pueden rastrillar con un rastrillo de tracción animal (Figura 5) o una rastra de clavo (Figura 6) formando cordones. Es conveniente dejar estos cordones en forma transversal a la pendiente a una distancia de 8 a 10 m, uno de otro, los cuales pueden servir de marcadores naturales para el paso de una pulverizadora. Los cordones de un ancho promedio de 1 metro no ocupan más de un 9 a un 10% del potrero, contribuyendo al mejoramiento de la nutrición del suelo y frenando también el escurrimiento superficial del agua, durante las lluvias.

Figura 6. Rastra de púas articulada.



Control de malezas

Previo a la siembra es necesario controlar las malezas con un herbicida total. En los sectores de secano se deben esperar las primeras lluvias que estimulen la emergencia de las malezas. Las aplicaciones pueden realizarse en predios pequeños con pulverizadores manuales tipo mochila o con una pulverizadora de tracción animal (Figura 7), las que dado su mayor ancho de trabajo, tardan sólo una hora en pulverizar una hectárea.

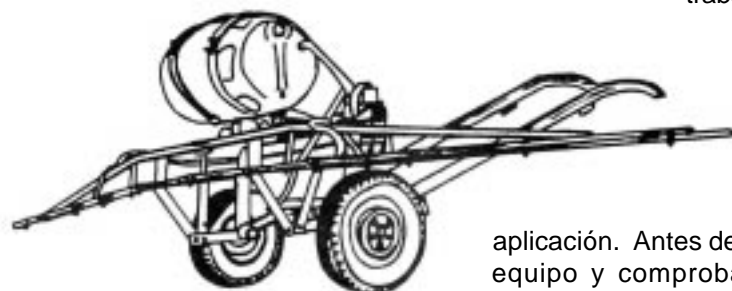


Figura 7.
Pulverizador de herbicida de tracción animal.

Al utilizar un pesticida deben guardarse las medidas de protección adecuadas. Lea detenidamente la etiqueta y haga caso a las recomendaciones de precaución tanto en el almacenaje como en la aplicación. Antes de efectuar la aplicación, se debe revisar el equipo y comprobar que está funcionando en la forma adecuada. El momento en que se prepara la mezcla, es el momento más peligroso, por lo que el operador debe protegerse adecuadamente. Utilice un traje protector de caucho, que conste de una chaqueta, pantalón y botas, cuide que el pantalón quede sobre la bota, evitando mojarse los pies con el escurrimiento; protéjase la cabeza con una capucha o un sombrero de ala ancha. Utilice antiparra para la protección de los ojos, y mascarilla para la boca y nariz; la mascarilla debe tener los filtros adecuados para el producto. El percibir el olor del producto, es una señal que los filtros no están funcionando. No aplique los productos cuando haya viento que provoque el movimiento de las hojas y ramitas, así como con temperaturas altas. No fume ni beba, ni coma mientras se realiza la aplicación. No destape las boquillas soplando con su boca, ni utilice alambres que pueden modificar el orificio de salida de las boquillas, se recomienda el empleo de un cepillo de diente, destinado sólo para ese uso. Si al terminar la aplicación aún queda un resto en el estanque, vuelva a diluirlo en agua en una relación 1:10; y vuelva a aplicar en el campo hasta que se termine. Nunca vacíe o lave el equipo en una acequia. Una vez concluida la labor, el operador del equipo se debe bañar muy bien con abundante agua y jabón. La ropa utilizada en la aplicación debe lavarse con agua y detergente, separada del resto de la ropa de la casa.

Siembra

Después de transcurridos cuatro días de la aplicación del herbicida, se puede efectuar la siembra. Lo ideal será trabajar con la humedad adecuada del suelo; ni muy seco, donde se corre el riesgo de dejar la semilla destapada; ni demasiado húmedo, donde el surco de siembra se compacta y la semilla también queda descubierta.

Para siembra de grano fino y semillas de praderas se puede utilizar una sembradora de tracción animal (Figura 8), la que corresponde a una sembradora con dosificadores de flujo continuo, que cuenta con un depósito para semilla de grano

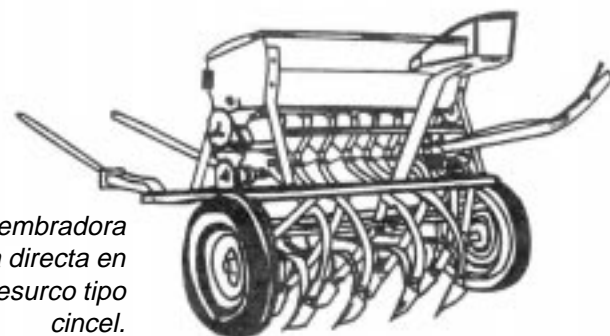


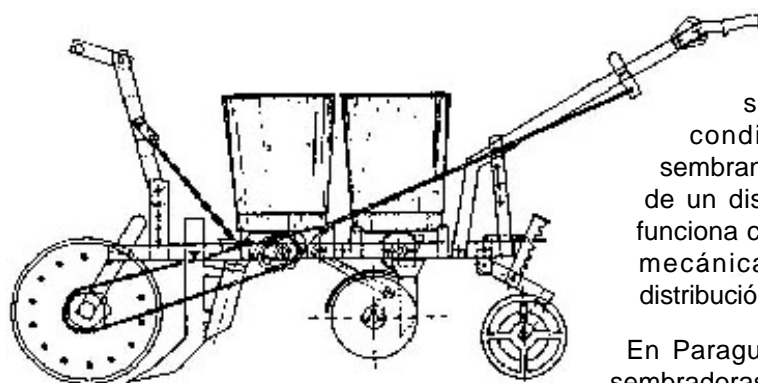
Figura 8. *Sembradora de siembra directa en línea con abresurco tipo cincel.*

fino (trigo, avena, cebada, arroz, lenteja, porotos, arvejas, lupino); otro para empastadas (tréboles, alfalfa, hualputras) y uno para fertilizante. El sistema abridor de surco permite la siembra directa sobre un suelo no labrado previamente, mediante la utilización de un vástago tipo "S" con una

herramienta cincel. En la parte posterior de la herramienta lleva una zapata especial que permite depositar la semilla y el fertilizante en el surco abierto por el cincel, antes de que éste se cierre por las propiedades cohesivas de un suelo sin labrar.

En cuanto a la aplicación de fertilizante, en el caso del trigo, nosotros recomendamos, aplicar sólo el fósforo durante la siembra y parcializar en tres tercios la aplicación del nitrógeno, el primer tercio cuando el trigo ha emergido y tiene tres hojas, el segundo tercio a la macolla y el último tercio cuando el trigo se encuentra en el estado fenológico de encañado. De esta manera las plantas hacen un uso más eficiente de los nutrientes y se disminuyen las pérdidas por lixiviación las que podrían contaminar las aguas.

En el Estado de Paraná Brasil, se le ha dado un fuerte impulso a la siembra directa de cultivos mediante la introducción



de una sembradora mateadora, con depósito para el abono denominada "Gralha Azul" desarrollada por el IAPAR (Figura 9), (Merten, 1994). Esta sembradora es capaz de sembrar en condiciones de gran cantidad de paja, sembrando principalmente maíz y soja. Consta de un disco cortador de rastrojo, que también funciona como rueda de transporte y transmisión mecánica, para conseguir una adecuada distribución de semilla y dosificación del fertilizante.

En Paraguay la siembra directa se realiza con sembradoras manuales; las que también se originaron en

Figura 9. Sembradora mateadora "gralha azul". Brasil. Estas sembradoras se denominan "matraca" (Figura 10) (Bragagnolo, 1995). La matraca siembra y aplica fertilizante al mismo tiempo; sirve para sembrar maíz, soja y frejol. Se pueden usar terrenos de alta pendiente y la siembra es rápida y pareja.



Figura 10. Sembradora manual "matraca".

Conclusiones

Existe una oferta tecnología, de máquinas y equipos que permitiría la incorporación de los pequeños agricultores a una tecnología que hoy es una realidad en las medianas y grandes fincas de Argentina y Brasil. Sin embargo su utilización depende de un buen conocimiento y formación de técnicos y agricultores.

Finalmente, cabe mencionar que no sólo basta tener una estrategia de trabajo y opciones tecnológicas, sino también la capacidad y velocidad para implementar las mismas. Por ello hace falta movilizar de una forma más agresiva todos los segmentos de la sociedad ligados directa o indirectamente al problema para que, según Bragagnolo (1995):

- Se tome una decisión política y se establezca una estrategia de trabajo para enfrentar los problemas.
- Se busque un mejor entendimiento de los principios básicos del manejo y conservación de suelos y aguas para que las recomendaciones técnicas sean adecuadas y conforme a las necesidades de los productores.

- Se realice una buena y eficiente divulgación de estas tecnologías.
- Se establezcan las estrategias de apoyo (fondos financieros, capacitación, investigación, asistencia técnica, legislación, educación; etc.), para facilitar la adopción de las tecnologías.

Literatura citada

- BRAGAGNOLO, N. 1995. Manual integrado de prácticas conservacionistas. Proyecto Regional GCP/RLA/107/JPN. FAO. Santiago, Chile. 128 p.
- INE. 1997. VI Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadística (INE). Santiago Chile. 443 p.
- MERTEN, G. 1994. Prácticas conservacionistas en los Estados de São Paulo y Paraná, Brasil. **In:** Memorias del Taller sobre Planificación participativa de conservación de suelos y aguas. Proyecto Regional GCP/RLA107/JPN. FAO. Santiago. Págs: 251-260.
- WALL, P. 1998. Introducción a la Cero Labranza. **In:** Curso Taller Internacional Cero Labranza para la agricultura campesina. INIA CRI Carillanca – PROCISUR – Gobierno Regional de la Araucanía. Cacahué. Chile.

Siembra directa en la producción de forraje

por Fernando García Préchac *

Introducción

Existen países o regiones del Cono Sur con un amplio margen para el crecimiento de la producción animal sobre la base del incremento de la producción de forraje basados en la tecnología de siembra directa (SD).

La situación de Uruguay al ubicarse en el centro del ecosistema de pasturas de la región constituye un país básicamente pecuario con una significativa experiencia en la incorporación de la SD a la producción forrajera que puede ser parcialmente extrapolable a regiones vecinas. Aun alrededor del 80 por ciento de su superficie está ocupada por pasturas naturales que nunca fueron roturadas y campos parcialmente regenerados o en proceso de regeneración de la pastura natural, luego que sufrieron alguna alteración por laboreo.

Ejemplo de lo anterior es la producción lechera, el sistema de producción animal con pastoreo directo más intensivo en Uruguay. Dicha producción ha crecido mucho en los últimos 20 años, utilizando una rotación de cultivos forrajeros y pasturas de gramíneas y leguminosas con laboreo convencional (LC) en los suelos cultivables (con capacidades de uso correspondientes a las clases I, II y III de la clásica clasificación del USDA), existentes dentro de los predios lecheros. Dicha rotación es imprescindible para intentar la sustentabilidad productiva del recurso suelo, ya que el laboreo en la fase de cultivos provoca erosión y degradación física, química y biológica, la que es revertida durante la fase de pasturas (García Préchac, 1992). Las áreas con suelos no cultivables en estos predios suelen mejorarse productivamente con la siembra en cobertura de especies predominantemente leguminosas y la fertilización realizada de igual forma.

En los establecimientos de producción mixta, agrícola-ganaderos, ubicados sobre los suelos más fértiles del país, las pasturas perennes rotan con cultivos para grano y se destinan normalmente al engorde de ganado de carne.

Los establecimientos ganaderos de producción de carne y lana poseen, en general, menores proporciones de suelos cultivables que los lecheros. Pero en las áreas arables de dichos predios, las pasturas sembradas de especies perennes con laboreo han tenido menor difusión y cuando existen se utilizan principalmente en sistemas de ciclo completo (cría y engorde), para la terminación o engorde o para categorías y momentos especiales de la cría, al igual que algunos cultivos anuales para pastoreo directo. La tecnología más utilizada para incrementar la oferta forrajera en estos predios, pero en la generalidad de los casos ocupando áreas minoritarias de los mismos, es la siembra en cobertura (al

* Ing. Agr., M. Sci., Ph. D., Profesor de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía de la Univ. de la República Oriental del Uruguay y Consultor del INIA-Uruguay. E-mail: fgarcia@fagro.edu.uy

voleo sobre la superficie) de leguminosas, acompañada de fertilización fosfatada, tecnología conocida como “mejoramiento extensivo”.

La tecnología de la siembra directa (SD), consistente en el uso de herbicidas y máquinas de siembra directa, ofrece las ventajas generales indicadas en los artículos generales sobre el tema (por ej., García Préchac, 1998). Pero en el caso concreto de la mejora productiva de los establecimientos de producción animal, principalmente en los sistemas más intensivos, entre dichas ventajas se destacan las siguientes:

- 1) Incrementar la oferta forrajera sembrando, tanto con cultivos forrajeros como con pasturas perennes, los suelos no arables por riesgo de erosión o por problemas no extremos de exceso de agua.
- 2) Utilizar con alta seguridad y en alta proporción el forraje ofrecido por las pasturas anuales y perennes durante los períodos con exceso de agua, sin comprometer seriamente su productividad futura.
- 3) Renovar pasturas degradadas o desbalanceadas hacia alguno de sus componentes, incorporando especies tanto anuales como perennes de gramíneas o leguminosas. Cuando la degradación es por invasión de gramilla (*Cynodon dactylon*), que es el caso más frecuente, es imprescindible el control con herbicidas tipo glifosato.
- 4) Ofrecer mejores condiciones de instalación de las especies introducidas en los mejoramientos extensivos mediante la supresión de la competencia con herbicidas y la colocación de las semillas en contacto con el suelo y cerca del fertilizante.
- 5) Dar mayor seguridad a la realización de doble cultivo anual en la fase de cultivos de la rotación.
- 6) Reducir el parque de maquinaria necesario, sus gastos de mantenimiento, reparación y operación (combustible, mano de obra) y prolongar sus plazos de amortización, reduciendo los costos fijos y variables.

Entre las desventajas generales, la que más frecuentemente se menciona es la compactación producida por el pastoreo, que no se solucionaría con laboreo.

Este trabajo está dirigido a presentar en forma resumida la información experimental y productiva generada en Uruguay sobre las primeras cuatro ventajas y la desventaja mencionadas, así como las principales conclusiones a las que se ha arribado hasta el presente, que en muchos casos es una situación de duda que requiere más investigación. También se incluirán algunos temas que no encuadran exactamente en la categoría de ventaja o desventaja, sino que son problemas particulares que se presentaron al utilizar la nueva tecnología. No se incluyen todos los detalles de los trabajos que se mencionan pero se realizan las citas bibliográficas correspondientes¹. La primera versión, de agosto de 1998, se presentó en el 2do. Seminario Internacional de Actualización Técnica sobre Siembra Directa, organizado conjuntamente por la AIA-Rivera y la Assoc. Santanense de Eng. Agr., de Rio Grande (Brasil) que formó parte de las actividades de Educación Permanente de la Facultad de Agronomía durante 1998. La versión seleccionada para incluirse en la publicación del PROCISUR, se presentó en el Curso de Educación Permanente sobre Siembra Directa que ofrecieron conjuntamente la Facultad de Agronomía, el INIA-Uruguay y el PROCISUR (IICA) en marzo de 1999 en Paysandú,

1 Los trabajos propios que se citan fueron realizados con financiación del Proyecto PRENADER (MGAP-BM), tanto en La Facultad de Agronomía como en el INIA, con excepción de los de INIA-Tacuarembó hasta 1997, que tuvieron financiación del Proyecto INIA - Fac. de Agronomía-BID-CONICYT N° 191/92

Uruguay, con apoyo del PRENADER (MGAP-Banco Mundial). Ante dicha selección se realizó una revisión en febrero del 2001, que es lo que aquí se presenta.

Un caso que ejemplifica las ventajas de aumento del área sembrada, renovaciones por interseembra, mejoramiento de campo natural y mejor utilización del forraje en invierno

El caso del establecimiento lechero “Los Pepeos” (Valenti, 1997), ubicado en Sarandí Grande, Florida, sobre Brunosoles y Vertisoles (Argiudoles, Vertisoles), con áreas de Litosoles (Hapludoles), servirá para ilustrar varias de las ventajas ofrecidas por la SD frente a LC en estos sistemas productivos.

Se trata de un predio de 1.120 ha, con el 58 por ciento de la superficie arable. El área no arable presenta limitaciones por riesgo de erosión asociado a suelos poco profundos sobre rocas precámbricas y por exceso hídrico en las concavidades y zonas bajas. Con LC se tenía una rotación de seis años, como se muestra en el Cuadro 1, con 470 ha de campo natural. Esta situación generaba 8.299 kg de materia seca (MS) por ha arable y 5.746 kg de MS por ha total del predio. En abril de 1995 se tomó la decisión del cambio a SD en la totalidad del predio, motivado principalmente por estimarse que se reducirían los costos de producción. El plan de cambios es el que se observa también en el Cuadro 1, consistiendo en los siguientes: 1) A las praderas engramilladas entrando en su cuarto año (año 4), se las trataría con glifosato y se les sembraría un verdeo de invierno previo al comienzo de la fase de la rotación que incluye trébol rojo, sembrado consociado con sorgo forrajero. 2) El año siguiente (año 5) al Trébol Rojo se le intersembraría avena. 3) En el verano al comienzo del año 6, luego de culminado el ciclo de la avena intersembrada en el Trébol Rojo, se intersembraría un verdeo de verano. Se presupuestó que todos estos cambios elevarían la oferta de MS en el área arable bajo rotación a 8.881 kg/ha, un incremento de 8,4 por ciento sobre la situación con LC. 4) El cambio más significativo ocurriría en el área de campo natural, que se plantaría con leguminosas, en varios casos junto con *Festuca arundinaceae* y en algunos consociando las especies perennes con verdeos de invierno.

Cuadro 1. Rotación de 6 años con LC y plan de cambios a partir de la introducción de la SD

Año	Uso del Suelo con LC	Superficie (ha)	Uso del Suelo con SD	Superficie (ha)
1	P1-TF	108	P1- TF	108
2	P2	108	P2	108
3	P3	108	P3	108
4	P4/SF-TR	108	CI/SF-TR	108
5	TR	108	TR-AV	108
6	AV/Maíz	108	M/AV/Maíz	108
	C. Natural	470	C. Natural	146
			C. Nat. Mejorado	325

P1-4: Pradera de 1- 4 años; TF: Trigo Forrajero; SF: Sorgo Forrajero; TR: Trébol Rojo; CI: Verdeo de Invierno; AV: Avena; M: Verdeo de Verano.

El campo natural así mejorado pasaría a ocupar 325 ha, reduciéndose sin mejorar (áreas con afloramientos rocosos o muy mal drenadas) a 146 ha. Considerando la totalidad del predio, la producción de MS ascendería a 6.881 kg/ha, un incremento de 20,7 por ciento sobre la situación previa con LC.

Los coeficientes técnicos en abril de 1995, previo al cambio, y en abril de 1997, dos años luego de implementados los cambios, se presentan en el Cuadro 2.

El aumento de producción anual que se observa en la tercera línea del Cuadro 2 fue del 8,4%. Obviamente, no podría esperarse una relación directa entre el aumento que realmente se produjo en la oferta de materia seca y la producción de leche, ya que intervienen muchos otros factores. Sin embargo, el resultado físico es claro en demostrar que si la nueva tecnología es bien aplicada deben esperarse mejoras productivas.

Cuadro 2. Coeficientes técnicos en abril de 1995 y en abril de 1997		
Coeficientes Técnicos	Abril de 1995	Abril de 1997
Vacas Masa	821	793
Vacas en Producción	561	586
Producción (litros/año)	3.191.614	3.460.501
Litros/ha arable	4.888	5.299
Litros/Vaca Masa	3.887	4.364
Ración (gramos/litro)	294	276

Oferta y utilización del forraje en ensayos comparativos de SD con LC en verdes de invierno bajo pastoreo

Es común escuchar o leer el concepto de que la producción (en el caso que nos ocupa la oferta de forraje) es menor con SD que con LC. Esto suele ser cierto, aunque no necesariamente una regla, cuando se realiza el cambio o transición de LC a SD. En el caso de verdes de invierno, los resultados en Uruguay sobre Brunosoles y Vertisoles (Argiudoles y Vertisoles), que habían sido manejados con LC previo al comienzo del uso de SD, encontraron la diferencia arriba mencionada solamente en la primera utilización (primer pastoreo), o no encontraron diferencia significativa. A partir de la segunda utilización, en general, no se encontró diferencia significativa (Amarante et al., 1996 y 1997; García Préchac et al., 1996 y 1997; Terra y García Préchac, 1997a y 1998a). En los casos en que existió diferencia a favor de LC en la primera utilización, en alguno la misma desapareció aumentando la dosis de nitrógeno aplicada (Amarante et al., 1996 y 1997), pero en otros el problema se debió a menor población de plantas emergidas (Terra y García Préchac, 1997a).

En los casos en que la comparación entre SD y LC, comenzando sobre situaciones que venían de LC, se mantuvo por varios años en las mismas parcelas, las diferencias de oferta de forraje entre los sistemas de laboreo tendió a desaparecer con el tiempo (Terra y García Préchac, 1997a y 1998a). Inclusive, en la primera utilización del tercer año del experimento, iniciado en condiciones algo secas, existió tendencia a mayor oferta de forraje en SD.

También en este año (1997), debido a la acumulación de $N-NO_3$ en el suelo por el seco verano anterior (más de 25 ppm en los primeros 15 cm a la siembra), no se observó respuesta a la aplicación de nitrógeno en ninguno de los tratamientos de laboreo en la oferta de forraje para el primero y segundo pastoreo. A la siembra de este tercer año, el contenido de materia orgánica en los primeros 20 cm del suelo bajo SD fue significativamente mayor que en LC. Si bien en SD no se da la importante mineralización de materia orgánica que provoca a corto plazo el LC, manteniendo una menor tasa de producción de $N-NO_3$ por unidad de masa de materia orgánica que LC, al poseer más cantidad de materia orgánica igual produce una importante cantidad de $N-NO_3$. Por dicha razón, es de esperar que en el nuevo equilibrio que significa mayor contenido de materia orgánica bajo SD, la disponibilidad de $N-NO_3$ debe llegar a ser mayor que en LC continuo. En años posteriores esto ha sido confirmado experimentalmente (Terra y García Préchac, Serie Técnica del INIA en prensa).

En el comienzo de estos ensayos en 1995 (García Préchac et al., 1996 y 1997), se encontró un contenido de $N-NO_3$ significativamente mayor a la siembra en LC que en SD. Pero al macollaje se revirtió la diferencia, presentando significativamente más $N-NO_3$ SD que LC. Ello se explica porque tanto el laboreo en LC, como la aplicación de glifosato en SD, se hicieron en los diez días anteriores a la siembra. Esta ocurrió cuando estaba todavía generándose una alta tasa de mineralización en LC, mientras en SD la vegetación viva anterior que recibió herbicida estaba todavía muriendo y comenzando a descomponerse junto con restos muertos anteriormente, provocando seguramente fijación temporaria de nitrógeno mineral en los tejidos microbianos. Un mes más tarde (al macollaje), había comenzado a desaparecer el efecto del laboreo y agotada la mayoría de los restos que descomponían, la muerte de muchos microorganismos devolvía el nitrógeno fijado a la forma mineral de NO_3 . Lo anterior enfatiza la importancia del "barbecho químico", esto es el tiempo mínimo de espera entre la aplicación del herbicida sistémico y la siembra, que deberá ser tanto más largo cuanto mayor sea la cantidad de biomasa que se mata con el herbicida, pero que para dar alguna idea, no debería ser menor de un mes en ningún caso.

En 1998 en la Unidad Experimental Palo a Pique, además de la continuación de la comparación de LC y SD en el sistema de cultivos forrajeros continuos comenzada en 1995, se la realizó en los verdeos de invierno cabeza de rotación sobre pradera de dos años de T. Rojo con Raigrás y pradera de 4 años de T. Blanco, Lotus y Raigrás, que como es lo normal terminó engramillada (Terra y García Préchac, 1998a). En esta oportunidad se realizó en ambas praderas un barbecho químico de un mes. La diferencia de oferta de materia seca al primer pastoreo entre los tratamientos de laboreo en los tres ensayos no resultó significativa. En ensayos posteriores de verdeos de invierno cabeza de rotación sobre pasturas, la disponibilidad de $N-NO_3$ al macollaje no fue diferente entre un tratamiento laboreado y SD con 70 días de barbecho químico; en cambio, SD con 15 días de barbecho químico presentó disponibilidad de N significativamente menor (Terra y García Préchac, Serie Técnica del INIA en prensa).

Otro concepto de manejo generalizado es la mayor necesidad de fertilización nitrogenada con SD que con LC, debido a menor disponibilidad de N en el suelo bajo SD. Los resultados de Palo a Pique (Terra y García Préchac, 1998a) no encontraron interacción significativa entre niveles de fertilización N y los tratamientos de laboreo, tanto en el primero como en el segundo pastoreo, en el sistema de cultivos continuos como en las cabezas de las rotaciones con pradera corta y larga antes mencionadas, desde 1995 hasta el presente. Esto significa que no se ha observado respuesta diferencial a N según se haya o no laboreado. La variación climática durante dichos años determinó la ocurrencia de períodos secos muy importantes, así como de períodos con exceso de agua, que de acuerdo a las determinaciones del contenido de $N-NO_3$ en los primeros 15 cm, determinaron una variación mucho más importante de la disponibilidad de N en el suelo que la ocasionada por la variación en la intensidad de laboreo utilizada. Las mayores diferencias a favor de LC frente a SD se dieron, tanto en invierno como en verano, en el

muy seco 1997; pero los valores de N-NO₃ en dicho año siempre estuvieron bastante arriba de 18 ppm (un valor que puede considerarse como crítico tentativamente para cereales de invierno a Z 22, según Bordoli, 1998), por lo que no debía esperarse respuesta a la fertilización N, tal como ocurrió. En los otros años, la disponibilidad de N-NO₃ estuvo en valores medios a bajos, por lo que debía esperarse respuesta, tal como también ocurrió; pero en estos años las diferencias entre intensidades de laboreo no ocasionaron importantes diferencias en la disponibilidad de N-NO₃, lo que llevó a que la respuesta fuera semejante (interacción no significativa, como ya se indicó). Además, en estos años la disponibilidad de N-NO₃ no siempre fue mayor en LC, en algún caso lo fue en SD. Resultados concordantes con los reseñados han sido encontrados en los ensayos de larga duración en la EEMAC de la Fac. de Agronomía en Paysandú (Ernst, 1998).

Hasta aquí hemos discutido, en base a la información experimental nacional uruguaya, que la menor producción bajo SD que con LC, puede esperarse que ocurra en el cambio de un sistema al otro y debería desaparecer si la SD se adopta como sistema y se mantiene en el tiempo, debiendo volverse a favor de SD, porque mientras el suelo bajo SD mejora su calidad, bajo LC continúa deteriorándose (erosión y pérdida de materia orgánica). Hemos visto que en la posible desventaja inicial de SD un factor importante suele ser la menor disponibilidad de N en el suelo, pero que un correcto barbecho químico puede ser muy importante en eliminar dicha desventaja. Sin embargo, muchas otras causas pueden deprimir la producción bajo SD frente a LC en el período de transición. Un factor fundamental es la calidad de siembra, que depende entre otras cosas de las posibilidades que ofrece el equipo de siembra y su correcta regulación y operación. En SD es imprescindible dejar una mínima cantidad de residuos sobre el suelo. Si ello no se realiza se tendrá erosión, no mejorará el nivel de materia orgánica, habrá baja actividad biológica y por lo tanto se tendrá degradación física, química y biológica del suelo. Sabemos que esto puede ser difícil de lograr en sistemas de producción animal con pastoreo, especialmente de verdeos, pero debe entenderse que, por decir algo, un mínimo de entre 1.500 y 2.000 kg de MS/ha (el último crecimiento de un verdeo de invierno) debe quedar sobre el suelo al final. Los productores entienden que esto es una pérdida y quieren hacerlo pastorear, pero debe hacerseles entender que si continuaran con LC, el último crecimiento del cultivo nunca lo verían porque hubieran terminado con el mismo enterrándolo y haciéndoles saber que SD sin un mínimo de residuos en superficie es tan insustentable como LC continuo.

Entonces, la evidencia indica que la oferta de forraje de los cultivos forrajeros con SD no tiene porqué ser inferior a LC, excepto en el cambio de sistema, conociéndose alternativas de manejo para eliminar o atenuar este problema. Pero existe una importante diferencia a favor de SD. ¿Cuánto del forraje ofrecido es realmente utilizado bajo LC y cuánto bajo SD?. En todos los experimentos arriba citados se hicieron determinaciones de resistencia a la penetración del suelo desde la superficie hasta alrededor de 30 cm (por debajo de la profundidad normal de laboreo). Todas esas medidas mostraron mayor resistencia en los primeros 5 a 15 cm (mayor piso) en SD, y por debajo de dicha profundidad en muchos casos la resistencia fue mayor en LC, indicando la presencia de compactación debida a la presión ejercida por los implementos de laboreo (piso de labor o suela de arado).

En los establecimientos que realizan siembra directa es común el comentario acerca de la mejor utilización del forraje ofrecido por los verdeos en los períodos lluviosos del invierno. Sin embargo dicha ventaja recién comenzó a cuantificarse en los experimentos de comparación de sistemas de laboreo de largo plazo en los Argisoles y Planosoles (Argiudoles típicos y álbicos) de las Lomadas del Este en la Unidad Experimental Palo a Pique de INIA-Treinta y Tres, desde 1997 (Terra y García Préchac, 1997a; Terra y García, 1998a). En las utilidades de dicho experimento durante junio a agosto de 1997, en condiciones tanto normales como de extremo exceso hídrico, el rechazo del forraje ofrecido estuvo entre 80 y 30 por ciento con LC y entre 57 y 20 por ciento en SD. En el primer pastoreo de 1998 las diferencias fueron más estrechas, pero se mantuvieron,

50 por ciento de rechazo en LC contra 40 por ciento en SD. Evidentemente, aún en un caso de menor oferta en SD que en LC, es altamente probable que siempre la real utilización del forraje de los verdeos de invierno por los animales sea mayor en SD, y por lo tanto, la performance animal sea superior con SD.

Compactación por pisoteo animal

Entre las desventajas de la SD suele incluirse la compactación del suelo (García Préchac, 1998). En dicho artículo se argumenta que ello es más creencia que realidad, ya que la compactación es una consecuencia del LC. Bajo SD, con ganancia de materia orgánica, mayor actividad biológica y suelo no perturbado, lo que debe esperarse es mejora física y no deterioro del suelo.

Sin embargo, cuando se trata de SD en sistemas de producción animal con pastoreo directo, el suelo no está totalmente imperturbado y se produce compactación en los primeros centímetros. Tanto mayor cuanto mayor sea la carga animal instantánea y tanto más profunda cuanto mayor sea la carga por unidad de superficie en el contacto entre las patas de los animales y el suelo (en general, cuanto más pesados sean los animales). Son muy pocos los trabajos en que este efecto se ha cuantificado. Scaglia et al. (1997) ensayaron en un verdeo en SD durante el invierno de 1997, en la Unidad Experimental de Palo a Pique, tres cargas de corderos nacidos entre agosto y setiembre de 1996 en su proceso de engorde hasta alrededor de 40 kg. Dichas cargas instantáneas fueron 60, 120 y 180 corderos por ha, pastoreando en períodos de 15 días cuatro unidades de rotación de pastoreo, desde el 6 de junio hasta el 29 de agosto. Al final del experimento, en los primeros 15 cm de la carga baja, la resistencia a la penetración era significativamente menor que en las cargas alta y media. Entre estas, a pesar de la tendencia a mayor resistencia en la carga alta, las diferencias no llegaron a ser estadísticamente significativas.

Se estudió el efecto sobre el cultivo de verano siguiente (Terra et al., 2000). En medidas de resistencia a la penetración tomadas en enero de 1998 luego de lluvias importantes, se encontró que hasta 10 cm de profundidad en la carga alta el suelo continuaba estando significativamente más compactado que en los otros tratamientos, llegando a 1,5 MPa en los primeros 5 cm, contra 1,2 y 0,99 en las cargas media y baja, respectivamente. Sin embargo, la producción de MS de una moha (*Setaria italica*) a los 60 días de la siembra, realizada en SD sobre el rastrojo del verdeo de invierno tratado con glifosato, no difirió estadísticamente entre las tres cargas de pastoreo del invierno anterior, llegando a 3.700 kg/ha en promedio.

En el invierno de 1998 se repitió el ensayo de engorde de corderos con las tres cargas de pastoreo y en el verano 98/99 el ensayo con moha sobre las mismas parcelas, repitiéndose el resultado de no existencia de diferencias significativas a los 50 días de la siembra (Carga Alta: 2.972, Carga Media: 2.999, Carga Baja: 3.185, DMS: 599, kg de MS/ha). En este año también se realizó cosecha de grano, que tampoco mostró diferencias significativas. En este último año se agregó un sector de las parcelas plantadas con sorgo forrajero, resultando en que la carga baja produjo 8.942 de MS/ha, la media 11.232 kg y la alta 17.094 kg. Este resultado inesperado, se explica por la particular interacción que ocurrió entre cantidad de residuos en cobertura dejados tras los pastoreos ovinos y el clima de diciembre de 1998. A medida que la carga de pastoreo invernal fue menor aumentó el volumen de rastrojo sobre el que se sembró el cultivo de verano. El Raigrás es uno de los componentes del verdeo de invierno y la presencia de sus semillas era mucho mayor al aumentar el volumen de rastrojo. Las particulares condiciones climáticas de diciembre de 1998 hicieron que una gran parte de dicha semillas germinara y que el Raigrás vegetara durante todo el verano 98-99, convirtiéndose en la principal maleza del cultivo.

Lo anterior no significa que no haya que cuidar el sobrepastoreo y que la compactación por pisoteo animal no tenga consecuencias sobre el crecimiento y producción de los cultivos y pasturas siguientes realizados con SD, sino que quizás no tenga la magnitud de impacto depresor de producción que se teme, o que al menos no la tenga en todas las condiciones ambientales. Existen en Uruguay resultados que muestran que en el cambio de sistema (de LC a SD), iniciar la fase de cultivos para grano de una rotación con praderas con un laboreo superficial y luego pasar a SD en todos los cultivos siguientes, redundará en beneficios productivos (Ernst, 1998). Sin embargo, en estos casos todo el rastrojo queda en superficie, en contraste con lo que ocurre en las rotaciones forrajeras con pastoreo directo (y por lo tanto pisoteo) de los verdeos de invierno.

Ensayos realizados en 1998-99 en la Unidad Exp. de Palo a Pique, demuestran que el realizar o no algún tipo de laboreo para el verdeo de invierno no tiene consecuencias sobre el cultivo de verano siguiente con SD (Terra y García Préchac, Serie Técnica del INIA en prensa). Las claras diferencias en los perfiles de resistencia a la penetración observados antes de los pastoreos de los verdeos durante el invierno desaparecen luego de los mismos.

Si bien bajo SD se tiene más piso y por lo tanto la oportunidad de utilizar verdeos y pasturas en condiciones de exceso de agua que no se tienen con LC, no debe confundirse una chacra o campo bajo SD con una carretera. La capacidad de carga de un suelo bajo SD también tiene un límite y al igual que bajo LC es más susceptible a compactación con alto contenido de agua en el suelo.

Antes se comentó la importancia del barbecho químico en cuanto a la dinámica del nitrógeno en el suelo y su disponibilidad para las primeras etapas de crecimiento de lo que se vaya a plantar con SD. Corresponde aquí comentar su importancia en el estado físico del suelo a la siembra. Si bien no se tienen datos experimentales que la objetiven, la experiencia de muchos productores usando SD es que si una pastura establecida o un campo natural son tratados con glifosato alrededor de dos meses antes de la siembra, cuando ésta se realiza se observa que el suelo se presenta suelto, en una excelente condición física, pudiéndosele introducir objetos o aún los dedos con poca dificultad. Esta observación puede explicarse por el mismo mecanismo que explica la mayor disponibilidad de nitrógeno. La pastura muerta por el herbicida tuvo tiempo de descomponerse, principalmente su sistema radicular, soltando los agregados estructurales y generando durante su descomposición una actividad biológica, principalmente de mesofauna, que aumentó la porosidad gruesa del suelo. Esto significa que el barbecho químico puede llegar a actuar como un "laboreo biológico" que sea suficiente para resolver condiciones no extremas de compactación superficial por pastoreo.

Cultivos forrajeros de verano

La información experimental disponible proviene mayoritariamente del cultivo de maíz, evaluado tanto en su producción de materia seca para ensilar como en la de grano. Los trabajos de esta década se realizaron en Luvisoles arenosos (Alfisoles) de Tacuarembó (Pérez Gomar y García, 1993), en Vertisoles de Paso Cohelo (Pérez Gomar et al., 1996 y 1997), en Brunosoles (Argiudoles) de Ecilda Paullier-Las Brujas (Martino, 1996 y 1997) y en Argisoles (Argiudoles) de Alférez (Terra y García Préchac, 1997a y 1998a).

Los resultados de Pérez Gomar y García (1993), en ensayos que comenzaron sobre chacras viejas con pisos de discos, indicaron que la realización de SD determina menor producción que LC o laboreo reducido (LR) si no se resuelve antes del inicio de SD el problema de compactación subsuperficial, ya que SD luego de un año en que se realizaron pasadas simples o cruzadas de cinceles profundos produjo resultados

superiores a LC en un verano no extremo. Martino (1996 y 1997) utilizó el Paraplow, un subsolador que casi no disturba la superficie del suelo y su cobertura, por lo que permite la realización de SD luego de su pasada. Sus resultados en varios años y cultivos, pero principalmente en maíz, siempre mostraron importante ventaja productiva de la utilización de esta herramienta. En la temporada de 1998-99 se realizó un ensayo probando la utilización o no de Paraplow a dos profundidades en un potrero de un sistema de SD continua de dos cultivos forrajeros anuales, iniciada sin laboreo previo en una chacra con muchos años de LC, en la Unidad Experimental La Magnolia sobre un Luvisol; los resultados, en un año seco, mostraron una superioridad de alrededor de 400 por ciento y 100 por ciento con la utilización de Paraplow a 40 y 20 cm de profundidad, respectivamente, frente a su no utilización (Pérez Gomar et al., 1999).

La ventaja de mayor disponibilidad de agua en el suelo y mejor status hídrico de las plantas con SD fue encontrada en todos los casos en que se realizaron dichas determinaciones, por métodos gravimétricos o con sonda de neutrones la primera (Pérez Gomar y García Préchac, 1993; Terra y García Préchac, 1997a) y a través de la temperatura foliar a máxima insolación la segunda (Pérez Gomar et al., 1996 y 1997; Terra y García Préchac, 1997a). Dicha ventaja significó mayor producción en años con déficit hídrico, pero no en años con precipitaciones abundantes (Terra y García Préchac, 1998a).

La cobertura de residuos del cultivo anterior, que en la mayoría de los ensayos antes indicados fueron de verdeos de invierno, determinó menor temperatura del suelo, principalmente a la hora de la máxima diurna, en los meses de primavera (Pérez Gomar y García Préchac, 1993; Terra y García Préchac, 1997a). En el caso del cultivo de maíz no se observaron problemas de implantación en los ensayos reseñados, que en parte podrían haber sido causados por esta característica de la SD, comparada con LC. Sin embargo, ella es sospechosa de contribuir en los problemas de mala implantación de sorgos y otros verdeos de verano exigentes de altas temperaturas en el suelo para germinar, a diferencia del maíz. Estos cultivos tienen semillas pequeñas que no pueden sembrarse a más de unos pocos centímetros de profundidad; esto hace que sean más riesgosos en su instalación, porque la variación de contenido de agua a poca profundidad es alta, faltando si no hay precipitaciones con pocos días de alta ETP. En este problema puede contribuir positivamente el mayor contenido bajo SD, pero es una de las causas de menor temperatura bajo SD (ver García Préchac, 1996, 1997 y 1999). Por lo tanto, las siembras de estos cultivos deberían retrasarse con SD, en relación a las fechas recomendadas con LC.

Sobre otros cultivos de verano, la información experimental acerca de las variables arriba discutidas recién comienza a encararse y es casi inexistente. Se podría mencionar la confirmación de que la instalación de sorgo en SD, en el excepcionalmente año seco 1999-2000, fue superior cuando su inmediato antecesor fue otro sorgo que cuando fue avena (García Préchac et al., 2000). Esto se debió a que la no vegetación durante el invierno en el caso del sorgo que lo antecedió, determinó mayor contenido de agua en el suelo a la siembra y emergencia que en el caso de la avena pastoreada anteriormente. Resultados en el mismo sentido fueron observados en el mismo año en cultivos de verano por socios de AUSID y por un Proyecto de validación de tecnología AUSID-Fac. de Agronomía (Ernst, com. Pers.). La mencionada escasez de información experimental hace que lo que se discute a continuación provenga de observaciones y experiencias a nivel de chacras comerciales, así como de experiencias fuera del país.

Una buena discusión que considera cultivos para grano es realizada por Ernst (1998). Nuestra experiencia nos sugiere que los problemas de implantación de verdeos de verano precedidos de verdeos de invierno pastoreados, mayoritariamente se deben a la utilización de éstos casi hasta la siembra de aquéllos, por lo que el suelo queda muy seco a la profundidad de siembra, muy compactado en superficie y sin cobertura, además de muy bajo en la disponibilidad de N. En dichas condiciones es difícil que la calidad de

siembra sea buena (poca penetración de los abresurcos) con desuniforme profundidad de las semillas, mal tapado y la necesidad de ocurrencia de una lluvia para que el suelo se humedezca lo suficiente para la germinación. En estas condiciones, muchas semillas son comidas por animales o pierden viabilidad. Si se opta por una siembra más profunda porque los primeros centímetros están secos y se la logra, la ocurrencia de una lluvia importante puede generar exceso de agua en el suelo, anegar surcos mal tapados y reducir excesivamente la temperatura del suelo. Todo lo anterior puede reducir la emergencia por pudrición de semillas que no logran germinar por falta de aire o de temperatura.

La calidad de siembra, dependiente de las características de las máquinas disponibles y su operación, estamos convencidos de que también suele ser causa de fracasos de instalación, principalmente cuando ello ocurre con el cultivo de maíz. Este cultivo, frente a los verdes de verano y los sorgos graníferos, tiene la ventaja de que la temperatura del suelo prácticamente no puede serle limitante, ya que el mejoramiento genético del cultivo ha llevado a que todos los materiales modernos tengan la capacidad de germinar con poco más de 10 C en la profundidad de siembra. Pero muchas veces se planta maíz con máquinas diseñadas para plantar granos pequeños, con kits adaptativos suministrados por las propias fábricas.

El maíz puede y debe ser sembrado a 5 cm, que es casi la profundidad máxima que dichas máquinas pueden alcanzar en el extremo de su prestación, cuando la misma no está de hecho limitada a menos profundidad por el desgaste de los discos abresurcos en relación al limitador de profundidad, por lo que en la práctica la profundidad de siembra suele ser subóptima. Si la profundidad no es limitante, lo puede ser el tapado de la semilla y muy frecuentemente la excesiva velocidad de siembra (más de 5 km/ha) que hace a los discos levantar fuera del surco a semillas que caen correctamente o desuniformizar el flujo de semillas porque los sacasemillas de placas saltan demasiado al estar colocados, por ser adaptaciones, sobre los órganos abresurcos. Una causa que a veces puede adicionalmente desfavorecer la emergencia, es la colocación del fertilizante de base muy cerca de la semilla o directamente en contacto con esta.

En síntesis, la instalación de cultivos de verano con SD creemos que es el cuello de botella para la obtención de un buen cultivo. Sin embargo, casi no hemos realizado investigación sobre el manejo de las variables que intervienen. La experiencia nos sugiere que los principales problemas son la falta de residuos y barbecho químico para generar descompactación, dar oportunidad a la ocurrencia de lluvias que recarguen el suelo, a la recuperación de la disponibilidad de N y a una segunda aplicación de herbicida si durante el barbecho se ha producido reenmalezamiento. En el caso particular del maíz, si lo anterior se ha respetado, la causa de un fracaso debe buscarse en la utilización de un equipo de siembra inadecuado y/o su incorrecta operación. En el caso de sorgos y verdes de verano, de grano más pequeño y sensibles a bajas temperaturas en el suelo, se tiene más riesgo; además del imprescindible barbecho químico debe esperarse que alguna lluvia genere una correcta humedad en el suelo y a que la temperatura del mismo sea adecuada (retraso de la fecha de siembra programada en relación a lo normal con LC). En estos casos, pueden usarse máquinas de siembra de grano pequeño, pero igualmente deben realizarse correctas selecciones de la profundidad de siembra y velocidad de operación para lograrla con buen tapado.

Renovación de pasturas engramilladas

En Uruguay, el típico fin de una pastura perenne está asociado a la muerte de las especies sembradas, particularmente las leguminosas y especialmente el Trébol Blanco, durante los períodos secos de los veranos y a la ocupación de dichos nichos, ricos en nitrógeno, por la gramilla, especie perenne de ciclo primavero-estival, rizomatosa y de fisiología C4. La invasión de gramilla está estrechamente asociada a la ausencia de

gramíneas productivas perennes que compitan con ella por dichos nichos (García, 1995). Esta especie muere en el invierno con las primeras heladas, dejando las áreas por ella ocupadas improductivas durante la época con mayor déficit forrajero del año.

La solución a este problema con LC era combatirla con laboreo y plantando una sucesión de cultivos anuales que ejercieran importante competencia. Reducida de esta forma la población de gramilla (principalmente de rizomas), se podía volver a instalar una pastura perenne, repitiéndose el ciclo descrito. La duración promedio de las praderas perennes en el Uruguay es de tres a cuatro años, aunque ello varía con el manejo de la pastura (permitir o no la semillazón, refertilizar o no, sobrepastorear o no, etc.). Por otra parte, terminan con muy baja población de leguminosas reduciendo la residualidad de nitrógeno para los cultivos siguientes en la rotación, que depende en alto grado de la proporción y producción de las leguminosas en el último año de la pradera (Díaz et al., 1980).

Los elementos componentes de la tecnología de SD permitirían: 1) reducir drásticamente la población de gramilla con glifosato y 2) intersembrar especies y refertilizar dentro del suelo con las máquinas de SD; inclusive, conociendo la existencia de un buen banco de germoplasma de las especies de la pradera, la sola aplicación del herbicida y la refertilización podrían ser suficientes. Con estas hipótesis se comenzó a trabajar en 1995 en la Unidad Experimental Palo a Pique.

El primer ensayo del que se tienen resultados publicados partió de un campo engramillado (alrededor de 50%), al que evolucionó una pradera de Trébol Blanco, *Lotus corniculatus* y Raigrás de más de 10 años, instalada luego de una sucesión de cultivos de soja, sobre la asociación de suelos de las Lomadas del Este, ya mencionados en este trabajo. El ensayo se instaló dentro de un potrero de 6 ha de un experimento de intensidad de uso del suelo (ver Terra et. al., 1997a y b), en el que se sembraron T. Blanco, Lotus y Raigrás y se refertilizó con 120 kg de 20-40-0, sin aplicación de herbicida. Los tratamientos consistieron en tres métodos de resiembra: 1) todo en cobertura (semilla y fertilizante), 2) SD (Semeato TDA), todo en líneas a 2,5 cm de profundidad y 3) con la misma máquina, el fertilizante en el surco y las semillas en chorrillo superficial pisadas por los aros limitadores de profundidad de los discos abresurcos. Combinados con los anteriores se aplicaron cuatro tratamientos de control de vegetación: 0, 1, 2 y 3 l/ha de glifosato, 20 días antes de la siembra (en ese entonces no teníamos conciencia de la importancia del barbecho químico).

Los resultados en el año de aplicación de los tratamientos (1995) y en el segundo y tercer año luego de aplicados, con un manejo de pastoreo rotativo con vacunos, pueden consultarse en García Préchac et al., (1996 y 1997) y en Terra y García Préchac (1997b). En cuanto al efecto de los métodos de resiembra, evaluados en octubre del año de aplicación de los tratamientos, los resultados variaron entre especies. Raigrás se instaló mejor y produjo más plantado en el surco, T. Blanco en cobertura y Lotus lo hizo en los tratamientos de semilla pisada por los limitadores y en cobertura. Raigrás mostró clara respuesta a la aplicación de glifosato, T. Blanco no respondió y Lotus mostró clara respuesta cuando se lo sembró en el surco, insinuándola solamente en los otros métodos de siembra.

En el otoño del segundo año, luego de pasado el primer verano, época en que se dan las condiciones para reinfestación de gramilla, los resultados mostraron mayor población de leguminosas y menor de gramilla con aplicación de herbicida y dosis creciente en el año anterior, independientemente del método de resiembra. Luego de la refertilización, en el segundo invierno, desaparecieron las diferencias significativas entre métodos de resiembra y todas las especies mostraron respuesta significativa a la aplicación del herbicida el año anterior, particularmente el T. Blanco que no lo había hecho en el primer año. Estos efectos siguieron mostrándose en forma significativa a la entrada del segundo verano, en particular la reducción de la población de gramilla, creciente con la dosis de herbicida y la mayor producción de materia seca por aporte de las especies introducidas.

Es de destacar que la respuesta del T. Blanco a la reducción de la gramilla por el glifosato, indiferente en la primer primavera y creciente luego del primer verano, en particular en el segundo invierno, sugiere un importante reclutamiento de nuevas plantas del banco de semillas preexistente, cosa que también ocurrió con las otras especies. En el otoño del tercer año, luego de un verano donde se dieron condiciones secas que favorecieron la reinvasión de la gramilla, todavía existían efectos significativos (menos gramilla y más T. Blanco), pero solamente en los tratamientos con la dosis más alta de glifosato.

Los resultados comentados indican que es posible renovar con aplicación de glifosato, refertilización y resiembra una pradera engramillada. Pero la duración del efecto en este ensayo fue menor al que debería ocurrir con una siembra convencional con LC, que en estos suelos es de esperar alcance al menos los cuatro años. Pero, considerando que la situación inicial era la de una pradera totalmente perdida y engramillada en exceso, serían de esperar mejores resultados en praderas bien manejadas, cuando comienza a aparecer gramilla, alrededor del tercer año y quizás tratando solamente los manchones con gramilla.

Por otra parte, al notarse que la reducción de la gramilla produjo reclutamiento de nuevas plantas del banco de semillas, hecho también repetidamente observado por productores que han comenzado a utilizar la nueva tecnología, se planteó si pudiera ser suficiente con la sola aplicación de glifosato y la refertilización, sin nueva resiembra. En 1997 se comenzó un nuevo ensayo, dentro del mismo potrero, combinando resiembra o no agregado de nuevas semillas, con 0, 2 y 5 l de glifosato por ha. La resiembra se hizo en cobertura para T. Blanco y Lotus, y con una Semeato SH se incluyó *Dactylis glomerata* en líneas a 2,5 cm de profundidad. Todo el ensayo fue refertilizado uniformemente.

Los detalles del ensayo y los resultados del primer invierno, hasta setiembre, se pueden consultar en Terra y García Préchac (1997c). Por razones de manejo general del potrero, se tuvo un pastoreo muy cerca de la aplicación del herbicida (65 días) y de la resiembra (50 días), con 5,2 Unidades Ganaderas/ha. Esto tuvo un impacto negativo sobre la resiembra, especialmente sobre la interseembra de *Dactylis*. A principios de junio (la resiembra fue el 30 de abril), excepto Raigrás y *Dactylis*, no se encontraron diferencias en el área de suelo cubierto por las diferentes especies entre resiembra y no resiembra. Tampoco en producción de MS. Sin embargo se observaron efectos debidos a los tratamientos de herbicidas. Lotus ocupaba más área con 2 l/ha que sin herbicida y que con 5 l/ha; esto puede deberse a que el control ejercido por los 2 l, además de controlar gramilla y abrir el tapiz, fue tolerado más por las plantas viejas que la dosis más alta, en la que la población presente en junio eran pequeñas plantas nuevas. T. Blanco no mostró diferencias entre 0 y 2 l/ha, pero cubría menos el suelo con 5 l/ha. La no diferencia entre 0 y 2 l/ha corresponde a lo observado en el ensayo anterior, la depresión con 5 l/ha puede deberse a la misma explicación dada para Lotus.

Raigrás y *Dactylis* (en las parcelas intersembradas) respondieron positivamente a la aplicación de glifosato y a la dosis. En la dosis más alta se favoreció la presencia de *Vulpia australis* y *Gaudinia fragilis*, dos gramíneas anuales de invierno, competitivas con las especies valiosas pero de poca producción. Los resultados con las gramíneas coinciden con otros en la bibliografía que se citarán adelante. Nuevamente, la gramilla fue reducida por la aplicación de glifosato y la dosis. En el otoño del segundo año (Terra y García Préchac, 1998b), se observó nuevamente un claro efecto del uso de herbicida y su dosis sobre la proporción de gramilla, tanto superficial como subterránea, y que la de T. Blanco estaba inversamente relacionada a la misma. En el segundo invierno esto se tradujo en mayor producción, principalmente relacionada al componente T. Blanco, observándose una renovación muy buena en el tratamiento con 5 l/ha que no se resembró. La tendencia en producción se mantuvo en la primavera, pero con mayor participación del Raigrás; la cantidad de materia seca de gramilla subterránea presente en dicho momento era de menos de 500 kg/ha con 5 l/ha, de 1750 con 2 l/ha y de 2000 sin aplicación de glifosato. Según Ríos et al. (1997), con valores de alrededor de 500 kg/

ha o menos se puede considerar una situación de gramilla bien controlada, en tanto con 2000 kg/ha es una situación de importante engramillamiento.

Por lo tanto, se confirmaría que si hay banco de semillas de las especies a renovar, sería suficiente con controlar la gramilla con glifosato y refertilizar. Sin embargo, con o sin nueva resiembra, normalmente en el primer invierno todavía no se tiene el resultado buscado porque las plantas son pequeñas, por lo que la renovación debe manejarse con cuidados semejantes al de una pradera en su año de instalación.

Ensayos posteriores, variando la época de aplicación del herbicida, muestran que si la aplicación se realiza a mediados de febrero se favorece excesivamente la resiembra natural del Raigrás, en cambio la aplicación a mediados de abril favorece más la resiembra natural de T. Blanco (Terra y García Préchac, Serie Técnica del INIA en prensa); la aplicación de febrero aparece como más efectiva en el control de la gramilla. Si la intención es una respuesta en el invierno inmediato, las aplicaciones de mediados de febrero generan una importante renovación temprana del Raigrás, que es anual, el que adecuadamente fertilizado se transforma en un buen verdeo de invierno.

Esto ha sido corroborado en el establecimiento lechero “Los Pepeos”, del que antes se presentaron resultados. Como se recordará, al fin de las praderas engramilladas se aplicaba glifosato para sembrar con SD un verdeo (avena o trigo forrajero); al comenzar a aplicar esta práctica, con aplicaciones de febrero, se comenzó a observar la resiembra de Raigrás y se decidió no realizar la siembra de la gramínea anual forrajera prevista, fertilizando con N el Raigrás reseñado como práctica corriente.

Resultados de aplicación general en la instalación de especies forrajeras perennes

Diferentes experimentos muestran que existen algunas regularidades en los efectos de algunas variables de manejo sobre la instalación de las especies forrajeras perennes.

Siembra en surcos vs. en cobertura

El primer resultado general es que las gramíneas se instalan mejor en siembras en líneas dentro de surcos de profundidad no excesiva a su tamaño de semilla, que si se las distribuye en cobertura superficial. Este resultado fue observado en un ensayo comparativo entre siembra directa (con Semeato TDA) a aproximadamente 2,5 cm y siembra en cobertura, en un tapiz natural sobre un Brunosol (Argiudol típico) de una mezcla de Festuca, T. Blanco y Lotus, por Amarante et al. (1997a). Resultados concordantes con los anteriores fueron obtenidos por Bermúdez et al. (1996), ensayando la introducción de gramíneas perennes en mejoramientos extensivos de T. Blanco y Lotus por distintos métodos y con diferentes máquinas de SD en la Unidad Experimental de Palo a Pique. Los resultados mencionados en el ítem anterior para Raigrás (García Préchac et al., 1996 y 1997), aunque no se trata de una especie perenne, también lo confirman, pese a que es reconocida la mejor capacidad del Raigrás que la de las gramíneas perennes de instalarse cuando se lo siembra en cobertura. También fue observado en pruebas de campo a escala productiva por AUSID en el Establecimiento “Las Rodajas”, en Sarandí del Yí, Durazno.

En contrapartida con lo anterior, todos los trabajos y observaciones citados, excepto el de Bermúdez et al., que no incluía leguminosas, indican mejor instalación de T. Blanco y Lotus en cobertura que en líneas. La bibliografía (por ej. Evers, 1995) indica que para las pequeñas semillas de estas leguminosas u otras de similar tamaño, más de 0,5 cm de profundidad comienza a ser excesivo. Por lo tanto, en el caso de los trabajos que se citan, que usaron invariablemente máquinas sin posibilidad de correcto control de

profundidad, como la Semeato TD y otras marcas con abresurcos de doble o triple disco y aros limitadores a 4- 5 cm, a pesar de intentar menor profundidad reduciendo el recorrido de los gatos hidráulicos, es posible que mayoritariamente la profundidad lograda para Lotus y T. Blanco haya sido excesiva. Las únicas máquinas en nuestro mercado con posibilidad de control de profundidad independiente en cada cuerpo y hasta 1,5 cm de profundidad son la John Deere de disco simple para grano pequeño y las SH de Semeato. Utilizando las mismas en un ensayo que se comenta adelante sobre maneras de obtener las mejores instalaciones de pasturas consociadas con Trigo en SD, los resultados con T. Blanco y Lotus tendieron a ser superiores que la siembra al voleo, pero sin significación estadística (Amarante et al., 1997b).

En el trabajo arriba indicado de comparación de SD con cobertura en la realización de mejoramientos extensivos de campos naturales (Amarante et al., 1997a), se determinó que las poblaciones de T. Blanco y Lotus por unidad de superficie a los 110 días de la siembra eran menores con SD, pero también se determinó que el peso individual de las plantas y su nodulación eran significativamente mayores en SD que en cobertura.

Dicho ensayo se instaló en 1995 y durante el fin del invierno, la primavera y el verano 95-96 sufrió una muy importante sequía que provocó la pérdida casi total del T. Blanco y la Festuca, sobreviviendo en cantidad relevante solamente el Lotus. Al determinarse su población en el otoño de 1996, se encontró que expresada como porcentaje de la población determinada a los 110 días de la siembra era significativamente mayor en SD (45%) que en cobertura (23%). Se supone que el mayor tamaño de las plantas en SD, relacionado a su mejor nodulación, les permitió un mayor sistema radicular que accedió a un mayor volumen de suelo y por lo tanto a más agua, durante las muy importantes condiciones de sequía que se presentaron. Por otra parte, determinaciones de fósforo disponible (Bray No. 1) en las líneas y entrelíneas de SD y en las siembras en cobertura, a incrementos de 2,5 cm de profundidad, realizadas en el otoño de 1996, mostraron mucho mayor disponibilidad de P para las plantas de SD.

Los resultados recién discutidos no son nuevos. Termezana y Carámbula (1971), comparando los métodos de siembra en cobertura contra la siembra en líneas con las antiguas máquinas de zapatas australianas, en dos localidades y dos suelos de diferente profundidad sobre basalto. Encontraron sistemáticamente que las poblaciones obtenidas en cobertura eran mayores que con zapatas, pero que el tamaño individual de las plantas instaladas era mayor con zapatas que en cobertura.

Los resultados anteriores llevaron a plantear la hipótesis de que con una buena siembra en línea de leguminosas se podrían lograr instalaciones aceptables desde el primer año, reduciendo la cantidad de semilla utilizada. En 1998 se inició un ensayo sobre el tapiz natural de un Brunosol subéutrico típico (Argiudol) de San Gabriel-Guaycurú, combinando la utilización de glifosato, paraquat y el no uso de herbicidas son tres densidades de siembra (7, 10 y 13 kg de semilla de Lotus corniculatus/ha), en cobertura o sembrado en líneas con una Semeato SH con nuevos abresurcos para pasturas. Los resultados a los 90 días de la siembra, parcialmente procesados (Amarante et al., no public.), muestran que la densidad de siembra produjo mejor instalación (plantas/m²) principalmente en cobertura sin aplicación de herbicidas. La siembra en líneas sin herbicidas se mostró menos sensible a la densidad de siembra. Con el uso de herbicidas en ambos métodos de siembra también se redujo la respuesta a la densidad.

Control de la vegetación con herbicidas y fertilización

En el trabajo de Amarante et al. (1997a), se combinaron los tratamientos de métodos de siembra con el uso de tres dosis de herbicida desecante (paraquat), tres de sistémico (glifosato) y un testigo sin herbicida. La instalación de la Festuca fue significativamente mayor con herbicidas que sin herbicidas, con glifosato que con paraquat y con mayor

dosis tanto de paraquat como de glifosato. En cambio, no se detectó efecto significativo en la instalación de T. Blanco y Lotus. Conviene aclarar que previo a la aplicación del herbicida se hizo un acondicionamiento del tapiz como para una siembra en cobertura convencional. También que desde el invierno y durante la primavera se dieron condiciones de sequía inusuales que redujeron la competencia de las especies del campo natural.

Formoso et al. (1996), compararon la aplicación o no de 2 l/ha de paraquat, combinada con tres dosis de un fertilizante binario, en una interseembra en campo natural realizada con una máquina Grassland con abresurcos tipo "Baker boot", precedidos por discos verticales, en la Estación Experimental del SUL en Cerro Colorado, Florida; los suelos son Brunosoles típicos y háplicos (Argiudoles típicos y Hapludoles). La mezcla sembrada fue Dactylis, T. Rojo, T. Blanco y Lotus. La mayor respuesta en la instalación de plantas al uso del herbicida la mostró el Dactylis; T. Rojo y Lotus también mostraron alguna respuesta al herbicida, siendo el T. Blanco el menos afectado. También la mayor respuesta a la aplicación y dosis del fertilizante la mostró el Dactylis, no siendo clara la respuesta de las leguminosas. La respuesta de la gramínea se atribuye principalmente al nitrógeno.

En un Brunosol típico a háplico sobre basalto (Argiudol típico a Hapludol), Marchesi et al. (1997a) compararon cuatro métodos de instalación de Lotus sobre campo natural: 1) cobertura, 2) cobertura con 50 por ciento de suelo expuesto por laboreo superficial, 3) SD consociado con avena, todo en el surco, y 4) SD consociado con avena, Lotus en cobertura. La SD se realizó con una Semeato TDA. Dichos tratamientos se combinaron en franjas con dos dosis de paraquat, cinco de glifosato y un testigo sin herbicida. La implantación y la proporción de Lotus lograda fueron mayores con los herbicidas, con glifosato que con paraquat y con la dosis de ambos herbicidas. Entre los métodos de siembra fue mayor en las coberturas que en las consociadas con avena. Entre las coberturas la instalación fue mayor con suelo expuesto. Entre las consociadas fue mayor la instalación en cobertura que en el surco. Los tratamientos fueron aplicados en 1996 y los efectos persistieron en el invierno de 1997 y en marzo de 1998 (Marchesi et al., 1999).

Por lo tanto, la información disponible consistentemente indica ventaja del control de la vegetación con herbicidas en el caso de las gramíneas. El único experimento que introdujo la fertilización como variable encontró la mayor respuesta en la gramínea, suponiéndose que fue principalmente a nitrógeno. Las leguminosas no mostraron una clara respuesta al control de la vegetación con herbicidas, excepto en el experimento sobre basalto.

Las leguminosas, luego de establecerse la nodulación efectiva, dejan de depender del nitrógeno del suelo y por lo tanto no sufrirían la competencia de la vegetación no controlada por este nutriente. Probablemente, por las características y ciclo de crecimiento de la vegetación natural del suelo de basalto en que se realizó el ensayo con respuesta en implantación y persistencia del Lotus al uso de herbicidas, su competencia puede ser mucho más importante y por otros factores de crecimiento diferentes al nitrógeno, que los tapices de los suelos de la zona centro- sur (cristalino) y de las Lomadas del Este de los demás ensayos. Aunque debe señalarse que en estos ensayos las condiciones de competencia de las especies nativas en el año de implantación de los ensayos no fueron las normales. Un ensayo posterior de introducción de Lotus en dichos suelos (García Préchac et al., 2000) arrojó resultados similares a los de Marchesi et al. en los suelos de basalto.

Instalación de pasturas perennes consociadas con cultivos de invierno

La siembra de pasturas permanentes en Uruguay se realiza mayoritariamente en siembras consociadas con cultivos de invierno. En los sistemas agrícola cerealeros-ganaderos, los cultivos son cosechados para grano, en cambio en los sistemas de

producción animal intensivos, como la lechería, los cultivos son pastoreados y a veces ensilados. Este tipo de siembra presenta varias ventajas con LC, entre las que se destacan la mayor conservación del suelo, la reducción de costos y la reducción de tiempo con suelo improductivo. Ello se debe a que con una sola preparación se hacen dos plantaciones y cuando se levanta el cultivo de invierno la pradera ya está instalada cubriendo el suelo. Si bien SD ofrece la ventaja de conservación del suelo como característica propia, al mantener siempre el suelo cubierto, la siembra consociada con SD mantiene las ventajas de reducción de costos y de tiempo de suelo improductivo.

Por otra parte, ya se expuso que el fin de las pasturas sembradas está dado por la invasión de gramilla. García (1995) muestra claramente que la ausencia de gramíneas con crecimiento y producción estival, principalmente las pasturas que incluyen solamente Raigrás, *Holcus lanatus* o *Phalaris tuberosa*, son la principal causa de rápida invasión por gramilla, mientras que la presencia de Festuca, pero sobre todo *Dactylis* y *Paspalum dilatatum*, la retrasan en el tiempo a más de cuatro años. Por lo tanto, en aras de reducir el costo de la pastura con la dilución de la inversión en varios años, es clave incorporar alguna de dichas especies en las mezclas.

El problema con SD, es lograr la misma calidad de implantación consociada con cultivos que la que se logra con LC.

La información que permite indicar el cumplimiento de ciertas generalidades en la instalación de especies perennes, permite imaginar que en SD y usando las máquinas normales de doble o triple disco con límite de profundidad a 4-5 cm, pensadas para las semillas de cultivos de grano pequeño (arroz, trigo, avena, cebada, etc.), si la semilla fina se ubica en el mismo surco lo estará a profundidad excesiva, además de que las plántulas que lleguen a instalarse estarán sometidas a mucha competencia por las del cultivo. Por ello es que todos los trabajos en que se comparó la ubicación de la semilla fina en el mismo surco que el cultivo de invierno, contra su distribución al voleo en superficie, consistentemente reportan mejores resultados de instalación con el último procedimiento (Amarante et al., 1996 y 1997, Amarante et al., 1997a, Terra y García Préchac, 1997b, y Marchesi et al., 1997a).

Sin embargo, los resultados con gramíneas perennes indicaban ventajas para las gramíneas plantadas en el surco, cerca del fertilizante basal binario (con nitrógeno). También, que si bien las leguminosas llegaban a menor población inicial en el surco, el tamaño de las plantas y su nodulación eran mayores, generando mejor sobrevivencia estival, asociándose esto a la cercanía de las plantas al fertilizante con fósforo. Por estos razonamientos y contando con una máquina John Deere con posibilidad de control de profundidad a 1,2 cm en forma independiente en cada línea, los Ings. Agrs. Daniel Valenti y Pablo Amarante probaron en el establecimiento lechero "Los Pepeos" la siembra de la consociada en dos pasadas cruzadas de la sembradora en 1995. En una de ellas se sembraron las gramíneas, Trigo y Falaris, a 2,5 cm, con una fórmula fertilizante de relación N:P 1:1. En la otra pasada, a 1,2 cm, se sembraron T. Blanco y Lotus con 0-46-0. El resultado fue excelente, pero con el inconveniente de requerir dos pasadas.

Esta problemática llevó a la instalación de un ensayo en mayo de 1996, comparando los siguientes cuatro tratamientos para la siembra de una mezcla de *Dactylis*, T. Blanco y Lotus consociada con Trigo para silo a grano pastoso: 1) Siembra cruzada, como se describió en el párrafo anterior, 2) Todo al surco, a 2,5 cm, 3) Trigo y *Dactylis* en el surco a 2,5 cm con el fertilizante y T. Blanco y Lotus al voleo, 4) Siembra alternada de un surco con Trigo a 2,5 cm y el linderero con las forrajeras a 1,2 cm. Los detalles y los resultados se encuentran en Amarante et al. (1997b). La evaluación realizada el 30/11/96, luego de la cosecha del Trigo, mostró mayor instalación de las leguminosas en los tratamientos 1 (cruzada), 3 (leguminosas al voleo) y 4 (alternas), y menor en el 2 (todo al surco). Entre los tres mejores las diferencias no fueron significativas, pero la cruzada tendió a ser algo superior. La instalación del *Dactylis* fue muy significativamente mayor y buena (casi 50

plantas /m²) en la siembra en líneas alternas, siendo pobre en todos los otros tratamientos (10 o menos plantas/m²).

En la primavera de 1997 los resultados fueron similares, con la excepción de que en la siembra alterna la población de leguminosas descendió al mismo nivel que en el tratamiento todo al surco. Probablemente este resultado es debido a que el verano 96-97 fue muy seco y las leguminosas, en la misma línea que las plantas de *Dactylis*, sufrieron gran competencia por agua. El tratamiento 4, al quedar las especies de la pastura a 38 cm entre líneas, sufrió importante invasión de malezas. El rendimiento del Trigo para silo fue de 7.715 kg/ha en el tratamiento 1, 8.281 en el tratamiento 2, 6.224 en el tratamiento 3 y 6.369 en el tratamiento 4. La diferencia fue significativa comparando el promedio de los dos primeros con el de los dos últimos.

En 1998 se instaló un nuevo ensayo en el que se desechó el tratamiento todo al surco y se incluyó uno nuevo con las gramíneas en líneas alternas con el fertilizante binario, una con Trigo a 2,5 cm y la linderera con *Dactylis* a 1,2 cm y las leguminosas al voleo. Las condiciones climáticas, en términos de humedad y temperatura fueron excelentes, determinando la desaparición de las diferencias encontradas en el ensayo anterior, excepto la consistente inferioridad de la instalación de leguminosas de semilla muy pequeña en los mismos surcos y a la misma profundidad que el cultivo forrajero invernal (García Préchac et al., 2000).

Ensayos semejantes se han llevado adelante desde 1997 en la Unidad Experimental de Palo a Pique de INIA-Treinta y Tres (Terra y García Préchac, Serie Técnica del INIA en prensa). Los resultados, en general, son confirmatorios de los discutidos anteriormente. Como novedad, en un año de excelentes condiciones de humedad y temperatura durante el período de siembra y emergencia, se llegó a observar buena instalación de *Dactylis* sembrado al voleo; pero en condiciones de falta de agua en el suelo su instalación fue superior en surcos poco profundos y separados del cultivo de invierno.

Como resumen del conocimiento y experiencia adquiridos en todos los ensayos realizados, las siembras consociadas en los sistemas de rotaciones con pasturas en SD en dicha Unidad Experimental Palo a Pique se realizan de la siguiente manera. Se utiliza una máquina con capacidad de ajuste independiente de la profundidad de siembra en cada uno de sus cuerpos (Semeato SH). El cultivo de invierno se planta en líneas alternas (a 38 cm), a 2,5 cm de profundidad. El *Dactylis* se mezcla con el fertilizante; una mitad del mismo va con el fertilizante que llega a los mismos surcos que el cultivo de invierno y la otra mitad va a los surcos intercalados con los del cultivo de invierno, a 1,5 cm de profundidad, donde también llega la mitad de la semilla de *T. blanco* y *Lotus* desde el cajón de semilla fina. La mitad restante de la semilla, fina que iría a los surcos del cultivo de invierno, se deja caer al voleo, desconectando en la salida del cajón los tubos correspondientes. De esta forma, la pradera tiene la mitad del espacio en los surcos a 1,5 cm, sin que exista un gran resentimiento en la producción del verdeo de invierno. Las leguminosas se instalan la mitad al voleo y la mitad en surcos poco profundos, separadas del cultivo de invierno; tanto en condiciones húmedas como secas se tiene así buena instalación. El *Dactylis* va en todos los surcos, ya que la abrumadora mayoría de la evidencia indica que las gramíneas perennes se instalan mejor en surcos que al voleo, aunque una mitad lo hace a 2,5 cm y compitiendo directamente con el cultivo de invierno.

Evolución de la vegetación natural tratada con herbicidas

La utilización de herbicidas sobre los tapices naturales produce cambios a corto y largo plazo, que suelen valorarse de diferente manera según los objetivos y percepción del valor de las pasturas naturales para quien realiza el juicio. Algunos estudios han encarado la evaluación de estos cambios, con diferente grado de profundidad.

El trabajo ya mencionado de Amarante et al. (1997a), comparó la aplicación de tres dosis de paraquat y tres de glifosato contra la no utilización de herbicidas. Además de evaluar su efecto sobre la instalación de las especies forrajeras introducidas, al inicio del otoño del año siguiente a la aplicación de los tratamientos se realizó un estudio de la composición del tapiz. El principal resultado encontrado fue la significativa disminución de gramíneas estivales, mayor con glifosato que con paraquat y creciente con la dosis de herbicida empleada. En las gramíneas invernales se observó igual tendencia, pero no llegó a ser significativa; cabe destacar que por la composición original del tapiz y por la época en que se realizó el estudio, las invernales eran claramente minoritarias (190 plantas/m² de estivales contra 40 de invernales en el testigo).

En otro estudio ya mencionado (Marchesi et al., 1997a), también comparando varias dosis de paraquat y glifosato sobre un tapiz natural de un suelo no profundo de basalto, encontraron al invierno del segundo año menor proporción de gramíneas nativas en los tratamientos con glifosato y con las dosis mayores. Los mismos resultados se observaron al inicio del otoño del tercer año (Marchesi et al., 1999), con los tratamientos de paraquat y la dosis menor de glifosato (1 l/ha) bastante semejantes al testigo. Sin embargo, debe destacarse que en este trabajo la evaluación de la presencia de gramíneas ha sido cuantitativa y no cualitativa.

El experimento que tiene más tiempo de evaluación y en el que se repitieron y se alternaron aplicaciones de paraquat y glifosato desde 1994, está instalado en la Unidad Experimental La Magnolia de INIA-Tacuarembó, sobre el campo natural de ciclo primavera-verde, dominado por gramíneas C4, de un Luvisol arenoso (Alfisol), formado sobre areniscas triásico-jurásicas (Tacuarembó en Uruguay; Botucatu en Brasil). Los detalles y resultados de los dos primeros años se pueden consultar en Pérez Gomar et al. (1996 y 1997); los resultados más recientes en Marchesi et al. (1997b) y Berretta et al. (1997 y 1998). Los objetivos de este trabajo fueron: 1) estudiar la posibilidad de reducir el déficit invernal de forraje en estos suelos incluyendo verdeos con SD, 2) estudiar el efecto de diferentes tipos y dosis de herbicidas sobre la producción de dichos verdeos y 3) sobre la composición botánica del tapiz y su evolución en el tiempo.

El ensayo comenzó en 1994, incluyendo como tratamientos tres dosis de paraquat, cinco de glifosato y un testigo sin herbicidas; en todo el ensayo el verdeo plantado fue una mezcla de *Avena strigosa* y Raigrás. En 1995 las parcelas fueron divididas en dos; a una de las mitades se les repitió el tratamiento del año anterior y a la otra no se le realizó ningún tratamiento, sembrándose en todo el ensayo las mismas especies que en el año anterior.

En 1996, las dos subparcelas del año anterior fueron nuevamente divididas al medio, repitiéndose en cada nueva mitad la aplicación o no del tratamiento correspondiente previo a la siembra del verdeo. De esta manera se tuvieron cuatro sub-subparcelas que recibieron tratamiento: 1) solo en 1994; 2) en 1994 y 1995, no en 1996; 3) en 1994, no en 1995 y nuevamente en 1996, y 4) en 1994, 1995 y 1996.

Los resultados de los tres años indicaron que glifosato produjo más control del tapiz que paraquat, creciente con la dosis y que la producción del verdeo estuvo correlacionada con la magnitud del control logrado. Considerando solamente los resultados de 1996, el uso de paraquat no mostró efecto residual en producción de su uso en años anteriores, en cambio dicho efecto fue observado con glifosato, aunque la producción de los tratamientos que recibieron glifosato en 1996, a todas las dosis, fue mayor a la de los que no recibieron glifosato en 1996. También, la producción en los tratamientos con glifosato en los 3 años (4), fue mayor a la registrada con la aplicación sólo en 1994 y 1996 (3). En síntesis, a mayor control, o sea uso del herbicida más agresivo, a mayor dosis y más frecuentemente, mayor respuesta productiva del verdeo de invierno.

En cuanto a la evolución del tapiz original, el trabajo fue realizado por los Ings. Agrs. Elbio Berretta, Claudia Marchesi y Enrique Pérez Gomar, constituyendo parte de la

Tesis de postgrado de Pérez Gomar en la Univ. Federal de Santa María. Los resultados publicados se pueden consultar en Berretta et al. (1997 y 1998). Comparados contra la siembra de verdeos todos los inviernos sin aplicación de herbicidas, los tratamientos con paraquat produjeron cambios menores en la composición botánica, pero estos fueron importantes con el uso de dosis medias a altas de glifosato y más profundos con la frecuencia de aplicación. En el extremo, con 4 l de glifosato por ha, repetido los tres años, desaparecieron todas las gramíneas perennes, quedando solamente gramíneas anuales de ciclo estival (*Digitaria sp.* y *Setaria geniculata*), *Coniza bonaeriensis* y *Eringium horridum*. Eso significa un estado de sucesión dominado por anuales, semejante al que produce el laboreo del suelo, excepto que este hubiera hecho desaparecer también al *Eringium* (los resultados de un año más de aplicación llevaron también a la eliminación del *Eringium*; Berretta et al., 1998). La aplicación de 1 l/ha de glifosato solamente en el primer año produjo cambios menores, semejantes a los que generó el paraquat.

De lo expuesto queda claro que no es sustentable incluir verdeos de invierno con SD en suelos con tapices estivales si todos los años se aplican herbicidas sistémicos, ya que desaparecerían las especies productivas estivales y se anualizaría la composición de dicho tapiz, con especies de menor producción y malezas. El uso de desecantes (paraquat), aún en todos los años, produciría menos cambios en la composición del tapiz en verano. Sin embargo, ya se dijo que la producción del verdeo de invierno está ligada al control logrado, que es menor con los desecantes y las dosis menores del sistémico.

A modo de síntesis se puede decir que la inclusión y producción de gramíneas anuales y perennes en tapices naturales, es proporcional al control logrado con herbicidas. La respuesta de las leguminosas ha sido muy clara en tapices de suelos no profundos de basalto, probablemente porque son muy competitivos por su composición y ciclo; en los ensayos sobre tapices de suelos de recubrimientos de Cuaternario en el sur y sureste, la respuesta en instalación de leguminosas al uso de herbicidas, no ocurrió en todos los casos, aunque sí en la mayoría.

Las consecuencias sobre la recuperación de las especies del tapiz natural son menores si se utilizan herbicidas desecantes (paraquat) o sistémicos (glifosato) a bajas dosis. Por lo tanto, estos serían los tratamientos a utilizar cuando lo que se intenta es incluir especies en el tapiz sin eliminarlo totalmente. Pero debe considerarse que si lo que se busca es la instalación de una pastura sembrada que sustituya al campo natural, el uso de herbicidas sistémicos a dosis altas y la siembra con máquinas de SD pueden lograr el objetivo, eliminando la erosión y degradación del suelo que genera el LC, lo que lo hace posible en suelos no arables por riesgo de erosión o exceso de agua moderado, y seguramente a menor costo. En este caso, para que el sistema sea sustentable en su mayor productividad, una vez que decline la pastura sembrada se debe pasar a un ciclo de cultivos que culmine con la reinstalación de la pastura en forma consociada; es decir, se abandona por completo el tapiz natural y se pasa a una rotación forrajera.

Literatura citada

AMARANTE, P.; GARCÍA PRÉCHAC, F. y PÉREZ BIDEGAIN, M. 1996 y 1997. Siembra directa en sistemas lecheros y ganaderos de la región centro y sur del país. In: García Préchac, F.(Ed.) Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos, Fac. de Agronomía de la UDELAR, Un. de Ed. Permanente, p: 73-86.

_____; FERENCZI, M.; JAURENA, M.; LABANDERA, C. y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1997a. Introducción de especies forrajeras en campo natural, comparando siembra directa en líneas con voleo superficial, en combinación con diferentes tipos y dosis de herbicidas. In: Jornada de Siembra Directa del VII Cong. Nac.

- de Ing. Agr., AIA-Uruguay, p: 123-125, e *In*: Anais, II Sem. Internacional do Sistema Plantio Direto, EMBRAPA-Trigo y Rev. Plantio Direto, p: 289-292.
- _____ ; ABELLA, I.; INDARTE, F.; GARCÍA PRÉCHAC, F. y PÉREZ BIDEGAIN, M. 1997b. Alternativas de siembra directa de praderas consociadas. *In*: Jornada de Siembra Directa del VII Cong. Nac. de Ing. Agr., AIA-Uruguay, p: 95-97.
- BERMÚDEZ, R.; CARÁMBULA, M. y AYALA, W. 1996. Introducción de gramíneas en mejoramientos extensivos. *In*: Producción Animal, Unidad Experimental Palo a Pique, INIA-Treinta y Tres, Serie Activ. De Dif. No. 110, p: 33-43.
- BERRETTA, E.J.; MARCHESI, C. y PÉREZ GOMAR, E. 1997. Evolución de la vegetación de un campo natural sobre suelo arenoso luego de tres años de siembra directa. *In*: Jornada de Siembra Directa del VII Cong. Nac. de Ing. Agr., AIA-Uruguay, p: 117-118, e *In*: Anais, II Sem. Internacional do Sistema Plantio Direto, EMBRAPA-Trigo y Rev. Plantio Direto, p: 285-287.
- _____ ; MARCHESI, C. y PÉREZ GOMAR, E. 1998. Evolución de la vegetación de un campo natural sobre suelo arenoso luego de cuatro años de siembra directa. *In*: Seminario Internacional sobre dinámica de poblaciones de malezas en siembra directa. INTA-PROCISUR, 6p.
- BORDOLI, J.M. 1998. Fertilización NP de trigo en siembras directas. *In*: Manejo de la fertilidad de suelos en sistemas extensivos, Fac. de Agon., Curso de Ed. Perm., p: 47-51-56.
- DÍAZ, R.; GARCÍA PRÉCHAC, F. y BOZZANO, A. (1980). Dinámica de la disponibilidad de nitrógeno y las propiedades físicas del suelo en rotaciones de pasturas y cultivos. *In*: Rotaciones, La Estanzuela, CIAAB-MAP, Miscelánea No. 24, p: 1-25.
- ERNST, O. 1998. Siembra directa de cultivos de invierno y verano. *In*: 2do. Seminario Internacional de Actualización Técnica, Siembra Directa, AIA-Rivera, Ass. Santanense de Eng. Agr., en la pág Weeb de la UEPP de la Fac. de Agronomía, disco de computación con las conferencias presentadas.
- EVERS, G.W. 1995. Methods of rose clover establishment into bermudagrass sod. *J. of Prod. Agric.* 8(3): 366-368.
- FORMOSO, D.; PEINADO, G. y DESCHENAU, H. 1996. Efecto de la dosis de fertilizante y uso de desecantes en implantación de especies forrajeras en campo natural mediante siembra directa, *In*: 4ta. Jornada Nacional de Siembra Directa, AUSID, Mercedes.
- GARCÍA, J. 1995. Gramilla y praderas, INIA-La Estanzuela, Serie Técnica No. 67, 14 p.
- GARCÍA PRÉCHAC, F. 1992. Propiedades físicas y erosión en rotaciones de cultivos y pasturas, INIA, *Inv. Agron.* 1(1): 127. -140
- _____ ; TERRA, J.A. y BLANCO, F. 1996 y 1997. Uso de elementos de la tecnología de siembra directa en producción forrajera en suelos de lomadas del este. *In*: García Préchac, F.(Ed.) Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos, Fac. de Agronomía de la UDELAR, Un. de Ed. Permanente, p: 87-100.
- _____ ; 1996, 1997 y 1999. Aspectos básicos del comportamiento del comportamiento del suelo en siembra directa: propiedades físicas. *In*: García Préchac, F.(Ed.) Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos, Fac. de Agronomía de la UDELAR, Un. de Ed. Permanente, p: 11-23. Reeditado en el curso de actualización realizado en Paysandú en marzo de 1999, Fac. de Agr.(UEPP)-INIA-PROCISUR-PRENADER.

- _____ ; 1998. Fundamentos de la siembra directa y su utilización en Uruguay, 2do. Seminario Internacional de Actualización Técnica, Siembra Directa, AIA-Rivera, Ass. Santanense de Eng. Agr., en la pág Web de la UEPP de la Fac. de Agronomía: <http://www.rau.edu.uy/agro/uepp/siembra5.htm> y disco de computación con las conferencias presentadas (también incluido en el disco con las conferencias del curso Fac. de Agr.(UEPP)-INIA de marzo de 1999).
- _____ ; AMARANTE, P.; CLÉRICI, C. y PÉREZ BIDEGAIN, M. 2000. Informe de avance del Proyecto No. 34 de la consultoría de la Fac. de Agronomía-UDELAR al PRENADER. **In:** Seminario de Investigación Aplicada PRENADER, INIA-Las Brujas.
- MARCHESI, C.; PÉREZ GOMAR, E. y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1997a. Lotus consociado con avena en siembra directa vs. Lotus en cobertura, con distintos tipos y dosis de herbicidas sobre suelos de basalto. **In:** Jornada de Siembra Directa del VII Cong. Nac. de Ing. Agr., AIA-Uruguay, p: 119-121.
- _____ ; PÉREZ GOMAR, E. y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1997b. Efecto del control de la vegetación natural sobre la producción de cultivos invernales con siembra directa. campo natural sobre suelo arenoso luego de tres años de siembra directa. **In:** Jornada de Siembra Directa del VII Cong. Nac. de Ing. Agr., AIA-Uruguay, p: 115-116, e In Anais, II Sem. Internacional do Sistema Plantio Direto, EMBRAPA-Trigo y Rev. Plantio Direto, p: 277-279.
- _____ ; PÉREZ GOMAR, E. y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1999. Métodos de siembra y de control de la vegetación para introducir Lotus corniculatus en pasturas naturales de un complejo de Hapludoles y Argiudoles poco profundos sobre basalto en Uruguay. **In:** Anales en CD-ROM del 14vo. Cong. Latinoam. de la C. del Suelo, 8-12 de noviembre, Pucón, Chile.
- MARTINO, D. 1996 y 1997. Siembra Directa en los sistemas agrícola-ganaderos del litoral. **In:** García Préchac, F.(Ed.) Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos, Fac. de Agronomía de la UDELAR, Un. de Ed. Permanente, p: 41-58.
- PÉREZ GOMAR, E. y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1993. Manejo de suelos arenosos en Tacuarembó. INIA, Serie Técnica No. 33, 22p.
- _____ ; GARCÍA PRÉCHAC, F. y MARCHESI, C. 1996 y 1997. Siembra directa en sistemas basados en producción de forraje: Región Noreste, **In:** García Préchac, F.(Ed.) Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos, Fac. de Agronomía de la UDELAR, Un. de Ed. Permanente, p: 101-121.
- _____ ; MARCHESI, C. y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1999. Informe del Proyecto No. 6. Rotaciones agrícola-ganaderas en Treinta y Tres y Tacuarembó, **In:** Seminario de Investigación Aplicada de PRENADER, INIA-Treinta y Tres.
- RÍOS, A.; CIVETTA, P. y SANZ, J.M. 1997. Control de gramilla en sistemas pastoriles. **In:** INIA, Serie Activ. de Dif. No. 136, p: 15-26.
- SCAGLIA, G.; TERRA, J.A. y SAN JULIÁN, R. 1997. Engorde de corderos sobre avena. **In:** Producción Animal, Unidad Experimental Palo a Pique, INIA-Treinta y Tres, Serie Activ. de Dif. No. 136, p: 47-58.
- TERMEZANA, A. y CARÁMBULA, M. 1971. Estudios en forrajeras. Proyecto Basalto, Mimeograf., Fac. de Agron., UDELAR.
- TERRA, J.A. y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1997a. Intensidad de laboreo y fertilización nitrogenada en cultivos forrajeros de invierno sobre lomadas del este. **In:** Jornada de Siembra Directa del VII Cong. Nac. de Ing. Agr., AIA-Uruguay, p: 99-105.
- _____ y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1997b. Uso de la tecnología de siembra directa en renovación de pasturas degradadas con gramilla (*Cynodon dactylon*) en

lomadas del este de Uruguay. **In:** Jornada de Siembra Directa del VII Cong. Nac. de Ing. Agr., AIA-Uruguay, p: 133-136, e **In** Anais, II Sem. Internacional do Sistema Plantio Direto, EMBRAPA-Trigo y Rev. Plantio Direto, p: 293-296.

_____ y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1997c. Uso de la tecnología de siembra directa en renovación de pasturas degradadas con gramilla (*Cynodon dactylon*) en lomadas del este de Uruguay. **In:** Producción Animal, Unidad Experimental Palo a Pique, INIA-Treinta y Tres, Serie Activ. de Dif. No. 136, p: 93-102.

_____ y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1998a. Uso y manejo sustentable de los suelos de las lomadas del este. **In:** Producción animal, Unidad Experimental Palo a Pique, INIA-Treinta y Tres, Serie Activ. de Dif. No. 172, p: 49-65.

_____ y GARCÍA PRÉCHAC, F. 1998b. Uso de la tecnología de siembra directa en renovación de pasturas degradadas con gramilla (*Cynodon dactylon*). **In:** Producción animal, Unidad Experimental Palo a Pique, INIA-Treinta y Tres, Serie Activ. de Dif. No. 172, p: 67-76.

_____ ; SCAGLIA, G. y GARCÍA PRÉCHAC, F. 2000. Moha: Características del cultivo y comportamiento en rotaciones forrajeras con siembra directa. INIA-Treinta y Tres, Serie Técnica No. 111, 62p.

VALENTI, D. 1997. Adopción de la siembra directa en el establecimiento lechero "Los Pepeos". **In:** Jornada de Siembra Directa del VII Cong. Nac. de Ing. Agr., AIA-Uruguay, p: 3-8.