

# Rotaciones y secuencias de cultivos en la Región Mixta Cerealera del centro-sur bonaerense

Compiladores: Horacio Forján y Lucrecia Manso



# **ROTACIONES Y SECUENCIAS DE CULTIVOS**

**en la Región Mixta Cerealera del  
centro-sur bonaerense**

**30 años de Experiencias**

*CHACRA EXPERIMENTAL INTEGRADA BARROW  
Convenio Ministerio de Agroindustria (Bs. As.)-INTA*

Mayo 2016

Rotaciones y secuencias de cultivo en la región mixta cerealera del centro-sur bonaerense  
Editores: Horacio Forján – Lucrecia Manso

Bailey, Alice A.

Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro-sur bonaerense : 30 años de experiencias / Alice A. Bailey ; editado por Horacio J. Forján ; M. Lucrecia Manso . - 1a ed . - Tres Arroyos, Buenos Aires : Ediciones INTA, 2016.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-521-699-0

1. Propiedad del Suelo. 2. Rotación de Cultivo. 3. Sostenibilidad. I. Forján, Horacio J., ed. II. Manso, M. Lucrecia, ed. III. Título.

CDD 634.8

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su almacenamiento en un sistema informático, ni su transmisión en cualquier formato o medio electrónico, fotocopia u otros métodos sin la autorización previa de los editores.

# Prólogo

---

Esta publicación describe resumidamente la labor desarrollada a través de 30 años por la Chacra Experimental Integrada Barrow en el tema rotaciones y secuencias de cultivos. La misma muestra el resultado de la integración de las distintas áreas de trabajo reunidas bajo el objetivo de encontrar respuestas a las demandas planteadas por el sector productivo en este período.

La necesidad de contar con información sobre la permanente evolución de los sistemas regionales de producción, permitió analizar los cambios que se produjeron a través de cada etapa transcurrida.

El uso intensivo del suelo y los paquetes tecnológicos asociados a los cultivos, que llegaron acompañados por modificaciones en los sistemas de labranzas, fueron evaluados y comparados con los sistemas tradicionales en un ambiente representativo de la región.

El análisis de distintas historias, sistemas o secuencias involucrados en los cuatro ensayos estudiados, permitió conocer las ventajas y desventajas de cada una, buscando encontrar aquellas que su implementación no afectara el potencial productivo del sistema de producción, en especial las propiedades del suelo con la disminución de su capacidad para conservar materia orgánica y entregar nutrientes a las plantas.

A través de los distintos capítulos se presenta información relacionada a sistemas, secuencias, nutrientes, materia orgánica, propiedades físicas del suelo, malezas, plagas y enfermedades, macro, meso y microfauna del suelo, donde se analizan y destacan los efectos positivos del uso de rotaciones sobre la productividad del sistema y la conservación de los recursos naturales.

Si bien las condiciones económicas han influido en este período y tendrán influencia en las decisiones futuras de uso del suelo y, por consiguiente, en las rotaciones a emplear, con la difusión de esta información se busca concientizar sobre los beneficios de la diversificación, sus objetivos, alcances como técnica agronómica y efectos sobre el sistema de producción.

La publicación está orientada a profesionales de la Agronomía, estudiantes de pre y postgrado en Ciencias Agrarias, y a productores y empresarios agropecuarios. Todos estos actores resultan ser los pilares con que cuenta la región para mejorar la oferta diversificada de materias primas agrícolas y ganaderas, con el objetivo final de aumentar la competitividad del sector y satisfacer la exigente demanda de los mercados actuales, siempre en un marco de sustentabilidad y cuidado del ambiente.

Ing.Agr. Horacio Forján

# Autores

---

## Editores responsables:

- Horacio Forján, Ing. Agr. Manejo de cultivos y suelos
- Lucrecia Manso, Ing. Agr. Ms. Sc. Manejo de cultivos y suelos.

## Participación:

- Martín Zamora, Ing. Agr. Ms. Sc. Fertilización y suelos
- Carolina Istilart, Ing. Agr. Herbicidas y malezas
- María Laura Seghezze, Ing. Qca. Laboratorio, determinaciones químicas de granos y plantas
- Elena Molfese Ing. Agr. Mag. Laboratorio, determinaciones químicas de granos y plantas
- Marta Borda, Ing. Agr. Ms. Sc. Análisis económicos y agrometeorología
- Liliana Iriarte, Ing. Agr. Cultivos oleaginosos
- Cristian Appella, Ing. Agr. Ms. Sc. Cultivos oleaginosos
- José Duhalde, Ing. Agr. Ms. Sc. Pasturas y producción animal
- Lucas Di Nezio, Med. Vet. Pasturas y producción animal
- Natalia Carrasco, Ing. Agr. Ms. Sc. Fauna edáfica
- Fernando Ross, Ing. Agr. Ms. Sc. Ecofisiología
- Stella Prioletta, Ing. Agr. Fitopatología

## Interacción con otros grupos de trabajo:

- María Virginia Moreno, Dra. Laboratorio de Biología Funcional y Biotecnología, Fac. de Agronomía, Univ. Nacional del Centro de la Pcia. de Bs.As.- CEBB-CONICET
- Luciana B. Silvestro. Prof. Univ. Laboratorio de Biología Funcional y Biotecnología, Fac. de Agronomía, Univ. Nacional del Centro de la Pcia. de Bs.As.- CEBB-CONICET
- Guillermo A. Studdert. Ing. Agr., Ms. Sc. Dr. Unidad Integrada Balcarce INTA - Fac. Cs. Agrarias. Univ. Nacional de Mar del Plata
- María Mercedes Ron, Ing. Agr. Ms. Sc. Cátedra de Fertilidad de suelos. Dpto. Agronomía, Univ. Nacional del Sur
- María Ester Mandolesi. Ing. Agr. Ms. Sc. Cátedra de Fertilidad de suelos. Dpto. Agronomía, Univ. Nacional del Sur

## Redactores invitados:

- Guillermo Studdert, Ing. Agr., Ms. Sc. Dr. Unidad Integrada Balcarce Unidad Integrada Balcarce INTA - Fac. Cs. Agrarias. Univ. Nacional de Mar del Plata
- Hugo Kruger. Ing. Agr. Dr. EEA INTA Bordenave
- María Virginia Moreno. Dra. Laboratorio de Biología Funcional y Biotecnología, Fac. de Agronomía, Univ. Nacional del Centro de la Pcia. de Bs.As.- CEBB-CONICET

## Gráficos y diagramación:

- Zulma López.

# Índice

---

|  |    |
|--|----|
| <b>Prólogo</b> .....   | 4  |
| <b>Autores</b> .....   | 5  |
| <b>Introducción: Importancia de los ensayos de larga duración</b> .....                                      | 7  |
| Ensayos de larga duración de rotaciones y labranzas .....  | 7  |
| Experimentos de larga duración. Características y aportes al conocimiento .....                              | 8  |
| ¿Qué es un ELD y por qué se realiza?.....  | 8  |
| <b>Capítulo 1: El área estudiada</b> .....   | 10 |
| <b>Capítulo 2: Historia de los ensayos de rotaciones de la CEI Barrow:</b> .....                             | 13 |
| Ensayo 0 .....   | 13 |
| Ensayo 1 .....   | 14 |
| Ensayo 2 .....   | 15 |
| Ensayo 3 .....   | 15 |
| <b>Capítulo 3: La secuencia de cultivos</b> .....  | 19 |
| - Planificación de la secuencia .....  | 19 |
| - Los cultivos involucrados .....  | 20 |
| - Las labranzas .....  | 20 |
| - Historia agrícola del lote .....   | 22 |
| - Cultivo antecesor .....  | 23 |
| - La rotación con pasturas .....   | 24 |
| - Cultivos de cobertura .....  | 25 |
| - El doble cultivo. Siembras de segunda.....   | 26 |
| <b>Capítulo 4: Los nutrientes</b> .....  | 29 |
| - Extracción de nutrientes .....   | 29 |
| - Aporte por fertilización.....  | 30 |
| - Balance de P y N .....   | 30 |
| - Evolución de otros parámetros químicos .....   | 32 |
| <b>Capítulo 5: La materia orgánica del suelo</b> .....   | 34 |
| - Rotación de cultivos .....   | 34 |
| - Sistema de labranza .....  | 36 |
| - Fracciones de la MO .....  | 36 |
| - Balance de C .....   | 37 |
| <b>Capítulo 6: Las propiedades físicas del suelo</b> .....   | 41 |
| - Resistencia mecánica a la penetración, densidad aparente y estabilidad estructural .....                   | 41 |
| <b>Capítulo 7: Las malezas, plagas y enfermedades</b> .....  | 46 |
| - Efecto de las rotaciones de cultivos sobre las malezas.....  | 46 |
| - Efecto de la historia agrícola y los sistemas de labranza sobre las malezas.....                           | 49 |
| - Evolución de las comunidades de malezas durante 12 años en rotaciones de cultivos en siembra directa ..... | 50 |
| - Plagas: insectos de suelo en siembra directa. Variación con la secuencia de cultivos .....                 | 54 |
| - Enfermedades de los cultivos: El pietín de los cereales .....  | 55 |
| <b>Capítulo 8: La flora y fauna edáfica</b> .....  | 58 |
| - Comunidades biológicas y actividad biológica del suelo asociadas a la siembra directa .....                | 59 |
| - Impacto de diferentes secuencias de cultivos sobre la macro y mesofauna del suelo .....                    | 65 |
| <b>Capítulo 9: Síntesis y conclusiones</b> .....   | 69 |
| - Efectos del uso agropecuario .....   | 69 |
| - Tecnologías de insumos.....  | 70 |
| - Tecnologías de procesos .....  | 71 |
| - Los ejes de la sustentabilidad: siembra directa, rotación de cultivos y fertilización.....                 | 71 |
| - Conclusiones .....   | 72 |
| <b>Imágenes de los ensayos</b> .....   | 75 |
| <b>Apéndice</b> .....  | 77 |
| <b>Información complementaria</b> .....  | 86 |

# Introducción - Importancia de los ensayos de larga duración

---

*Efectos de la actividad agropecuaria sobre los suelos y el ambiente. Necesidad de su estudio. Los Ensayos de Larga Duración. Sus características e importancia.*

---

## **ENSAYOS DE LARGA DURACIÓN DE ROTACIONES Y LABRANZAS**

*Dr, MSc, Ing. Agr. Guillermo A. Studdert*

Unidad Integrada Balcarce – [gstuddert@balcarce.inta.gob.ar](mailto:gstuddert@balcarce.inta.gob.ar)

Muchos son los motivos que han llevado a que la agricultura “evolucionara” (¿o involucionara?), especialmente en los últimos 60 años, transformándose en una participante destacada de muchos de los problemas ambientales actuales, especialmente en la degradación de las tierras (Lal y Pierce, 1991). No obstante, el más importante de esos motivos es quizás la realización de la actividad con un limitado conocimiento de cómo funcionan los sistemas en cada situación agroecológica, de cómo las prácticas empleadas afectan realmente los procesos y, por último, en qué magnitud pueden ser alterados los sistemas para no afectar la capacidad de restauración de sus propiedades y funcionalidad.

El desarrollo de sistemas de cultivo sustentables se basa en un profundo conocimiento del ambiente natural y biológico y de las complejas interacciones entre éstos y las prácticas de manejo a emplear (Francis y Clegg, 1990).

Una de las formas de abordar la generación de conocimientos que permitan interpretar y eventualmente manejar tales relaciones, es a través de ensayos de larga duración (ELD). Este tipo de ensayos han sido concebidos a lo largo y a lo ancho del mundo buscando responder una pregunta fundamental: ¿es posible sostener en el tiempo la productividad que se tiene al convertir un sistema natural en un sistema de producción? (Mitchell et al., 1991).

Los ELD pueden contribuir al conocimiento de los efectos de largo plazo de las prácticas agrícolas y de los desarrollos tecnológicos, dado el aporte que pueden hacer a la comprensión de los generalmente lentos cambios que ocurren en el sistema, particularmente en el suelo, por el uso continuo de determinadas combinaciones de prácticas de manejo (Frye y Thomas, 1991). La posibilidad de hacer el seguimiento de esos cambios bajo condiciones controladas de manejo es lo que les proporciona ventajas respecto a la evaluación de sitios con distintas historias de uso (Sandor y Eash, 1991). Esto se traduce en que los ELD se constituyen en registros “vivos” de la aplicación de prácticas de manejo, en origen de investigaciones complementarias y en la formulación de principios y conceptos de aceptación universal sobre manejo de suelos y cultivos (Mitchell et al.; 1991).

Es evidente que la conducción de ELD tiene (o debería tener) como meta principal el conocimiento de los cambios en los procesos asociados al uso del sistema para la producción.

Sin embargo, la posibilidad de cumplir con las metas con que los ELD son concebidos, depende de un gran número de factores. De todos ellos, quizás los más importantes tengan que ver con la formulación de la investigación en lo que se refiere a la definición de las hipótesis a demostrar, de los objetivos perseguidos y de los tratamientos a implementar. Por otro lado, es de suma importancia la representatividad o grado de posible extrapolación de los resultados según la escala de la problemática que se pretende solucionar y el tiempo durante el cual se mantengan funcionando los tratamientos definidos. La gran dificultad que significa representar y/o evaluar todas las situaciones de manejo posibles para una determinada condición agroecológica, hace que el esfuerzo en la definición de los tratamientos que conduzcan a conocer cómo funcionan y reaccionan los procesos ante las prácticas de manejo, sea la diferencia entre el éxito y el fracaso de un ELD para cumplir con los objetivos planteados. Asimismo, si bien la flexibilidad es necesaria para ir adaptando los ELD a los cambios tecnológicos, los tratamientos establecidos para la prueba de las hipótesis formuladas (o al menos aquéllos que más contribuyan), deben ser mantenidos de manera continua durante el tiempo previsto (Frye y Thomas, 1991). La pregunta de los investigadores “¿qué pasaría si ...” sólo puede ser formulada para incorporar variantes en los ELD si surgiera del análisis de los resultados obtenidos luego de un tiempo de ejecución, para estudiar los procesos desde otro punto de vista o a la luz de un cambio en la tecnología, y no como forma de satisfacer demandas cortoplacistas. Asimismo, no puede soslayarse la necesidad de adecuados diseños experimentales para garantizar correctas interpretaciones e inferencias (Frye y Thomas, 1991), sin desconocer los aportes al conocimiento que pueden hacer o haber hecho parcelas experimentales establecidas sin diseño experimental (Mitchell et al., 1991).

# **EXPERIMENTOS DE LARGA DURACION**

## **CARACTERISTICAS Y APORTES AL CONOCIMIENTO**

*Dr. Ing.Agr. Hugo R. Krüger*

Estación Experimental Agropecuaria INTA Bordenave – hkruger@correo.inta.gov.ar

En la Región Pampeana existen unos 30 ensayos de rotaciones y labranzas con carácter de “Larga Duración” (ELD). La mayor parte de ellos se ubica en estaciones experimentales del INTA, aunque existen algunos en predios pertenecientes a universidades u otros institutos de investigación, y en campos de productores. La antigüedad de estas experiencias es variable, entre los 36/37 años y la actualidad. La mayoría ha sido planeada en forma independiente, con criterios que atendieron tanto a necesidades de información locales, como a temas tecnológicos en boga durante la época de su iniciación.

En los experimentos de rotaciones se incluyen los principales cultivos de la región; los tratamientos suelen representar alguna secuencia común en la misma (manejo “tradicional”), más diferentes alternativas “mejoradoras”. Casi todos incorporan la rotación pastura/agricultura y algún monocultivo en sus tratamientos. Los experimentos de labranzas también toman secuencias de cultivos comunes de la región (o segmentos de las mismas), y pueden dividirse en dos grupos: Uno de ellos, en forma similar a los de rotaciones, compara tratamientos convencionales con alternativas mejoradas. El otro grupo aplica grados crecientes de intensidad de remoción, desde la no labranza (siembra directa), hasta un máximo relativo (generalmente arado de rejas o de discos).

En muchas de estas experiencias se ha ido adaptando la aplicación de los tratamientos al avance de la tecnología, incorporando aquéllas que se consideraron probadas (por ejemplo la siembra directa); otras han permanecido invariables a lo largo del tiempo.

Casi todos los ELD han sobrevivido a épocas de crisis gracias al entusiasmo y esfuerzo de sus responsables. En las actuales circunstancias, se ha revalorizado su existencia y se discute su papel en la generación de conocimientos.

Otro proceso, no menos importante, determina la necesidad de garantizar la permanencia y el adecuado funcionamiento de estas experiencias, tanto como de generar un espacio de intercambio, discusión y formación, que propicie el trabajo en equipo de sus responsables.

### **¿Qué es un ELD y por qué se realiza?**

El carácter distintivo de estas experiencias está dado por la intención de prolongarlas indefinidamente en el tiempo es decir, a diferencia de otros proyectos, no tienen fecha de finalización establecida. En otras palabras, su duración excede los plazos habituales de la mayoría de los proyectos de investigación, tanto del INTA como de otras instituciones.

Esto se debe en gran medida a que los efectos de los tratamientos aplicados requieren un tiempo relativamente prolongado para expresarse. Este período está determinado, en primera instancia, por la secuencia de rotación. La obtención de información completa sobre los cultivos en los diferentes tratamientos requiere como mínimo un ciclo del tratamiento más largo. En ese período otros tratamientos pueden repetir varios ciclos.

Por otra parte, la observación de efectos sobre el suelo resulta compleja y responde a numerosos factores: características de los tratamientos, propiedad estudiada, técnicas de evaluación, particularidades del clima, tipo de suelo, posición en el paisaje, etc.

Es necesario contar con registros sobre el comportamiento de cultivos y propiedades del suelo, bajo el clima imperante en la localidad estudiada, en suelos habitualmente representativos de una región mayor, y en situaciones de manejo conocidas. La calidad de esta información resulta difícil de superar a través de otras metodologías. En encuestas a productores, o en estudios basados en múltiples localidades por ejemplo, no siempre resulta posible controlar variables como suelo, cultivar, manejo, etc.

Por otra parte, fuera de los campos experimentales resulta muy difícil garantizar la permanencia de este tipo de estudios por períodos prolongados.

Una buena parte de la experiencia profesional adquirida por especialistas del INTA, y aún de otras instituciones, ha surgido de la conducción y/o trabajo en estos ensayos. El entrenamiento es un producto no siempre valorado del ELD.

Un aspecto no menos importante de estos ensayos está dado por su carácter de “reservas” para la investigación futura. La existencia de parcelas con tratamientos conocidos y estables a lo largo de períodos considerables no es común, y resulta fundamental para distintos tipos de estudios cuya necesidad, no evidente en la actualidad, va surgiendo como consecuencia del desarrollo de la ciencia y la tecnología.

Algunas características de los ELD, que pueden ayudar en el análisis de sus productos, son las siguientes:

- Han sido planificados en respuesta a demandas específicas del medio o a necesidades concretas de información. Sus resultados tienen, por lo tanto, validez práctica inmediata.
- Representan los cultivos y tecnologías de manejo de una determinada región en un momento determinado. Aunque algunos han ido actualizando tecnología y cultivo con el correr del tiempo, otros han permanecido invariables.
- Tienen diseño estadístico. En general este ha sido aplicado en forma adecuada, a pesar que resulta común el “bloqueo geométrico” o fijo, sin un estudio detallado de la variabilidad del sitio.
- Han sido desarrollados y conducidos por personal capacitado y con interés genuino en su adecuado funcionamiento. Aún a pesar de carencias en recursos financieros, de equipamiento y humanos, han mantenido la aplicación de sus tratamientos en el tiempo.
- Como mínimo han recogido información climática y de rendimientos. Algunos cuentan con información de otras variables y, en ciertos casos, han almacenado muestras colectadas en diferentes oportunidades.



La obtención de información agronómica de carácter local o regional constituye generalmente el objetivo para el cual fueron diseñadas estas experiencias. Esto ha permitido un mejor conocimiento del comportamiento de los cultivos en relación con las características del medio, y explicar algunos de los efectos sobre el rendimiento, las malezas y los suelos observados en la región. En forma indirecta también han dado origen a nuevos paquetes tecnológicos cuando la información obtenida en los ELD se adaptó en experimentos complementarios.

### **Bibliografía**

- FRANCIS, C.A. Y M.D. CLEGG. 1990. Crop rotations in sustainable production systems. P. 107-122. In: C.A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R.H. Miller y G. House (eds.) Sustainable Agricultural Systems, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, EUA.
- FRYE, W. W. y G. W. THOMAS. 1991. Management of long-term field experiments. *Agron. J.*, 83:38-44.
- LAL, R. y F. J. PIERCE. 1991. The vanishing resource. P. 1-5. In R. Lal y F.J. Pierce (eds.) Soil Management for sustainability. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, EUA.
- MITCHELL, C. C.; R. L. WESTERMAN, J. R. BROWN y T. R. PECK. 1991. Overview on long-term agronomic research. *Agron. J.*, 83:24-29.
- SANDOR, J: A. y N. S. EASH. 1991. Significance of ancient agricultural soils for long-term agronomic studies and sustainable agriculture research. *Agron. J.*, 83:29-37.

# Capítulo 1: El área estudiada

*Características de la región: Geomorfología, suelos y clima. Limitaciones ambientales. Ubicación del sitio en estudio, representatividad en relación con la región.*

Ing. Agr. Marta Borda; Ing. Agr. Horacio Forján

En el centro-sur bonaerense, se encuentra la llamada región mixta cerealera, que incluye el área de influencia de la Chacra Experimental Integrada Barrow (partidos de Tres Arroyos, Adolfo Gonzales Chaves, San Cayetano y Coronel Dorrego), y parte de los distritos de Coronel Pringles y Necochea.

Esta región, que abarca una superficie aproximada a 2.300.000 hectáreas útiles, forma parte de la gran unidad geomorfológica de la Pampa Austral Interserrana, delimitada por los sistemas serranos de Tandilia y Ventania, el litoral medanoso y la depresión de Laprida-Juárez. El paisaje presenta extensas llanuras suavemente onduladas, a veces muy marcadas, generalmente caracterizadas por la presencia de una capa de tosca, (un horizonte calcáreo a profundidad variable entre 50 y 100 centímetros) que limita la cantidad de suelo útil, reduciendo la capacidad de almacenaje de agua, sobre la que se agrega el manto loésico de espesor variable. También existen áreas con suelos sin tosca lo cual hace que estos ambientes tengan en general mayor capacidad de almacenar agua (Figura 1-1) para los cultivos (Duhalde y Forján, 1985).

Los suelos predominantes pertenecen al Gran Grupo de los Argiudoles, los cuales presentan una disminución gradual en el contenido de arcilla del horizonte B en sentido este-oeste. Los Paleudoles petrocálcicos (limitados en profundidad por la tosca) y Argiudoles típicos se hallan en gran parte de Tres Arroyos, Gonzales Chaves, San Cayetano, Coronel Pringles y Necochea. Hacia Coronel Dorrego predominan los suelos Hapludoles asociados a Argiudoles con escaso desarrollo del horizonte B y presencia de tosca a menos del metro de profundidad. Los Hapludoles típicos se relacionan con materiales arenosos de granulometría fina. En los ambientes bajos de toda la región existen suelos hidromórficos en los que se acumula agua (Natracuoles, Natralboles, Natracuafes).

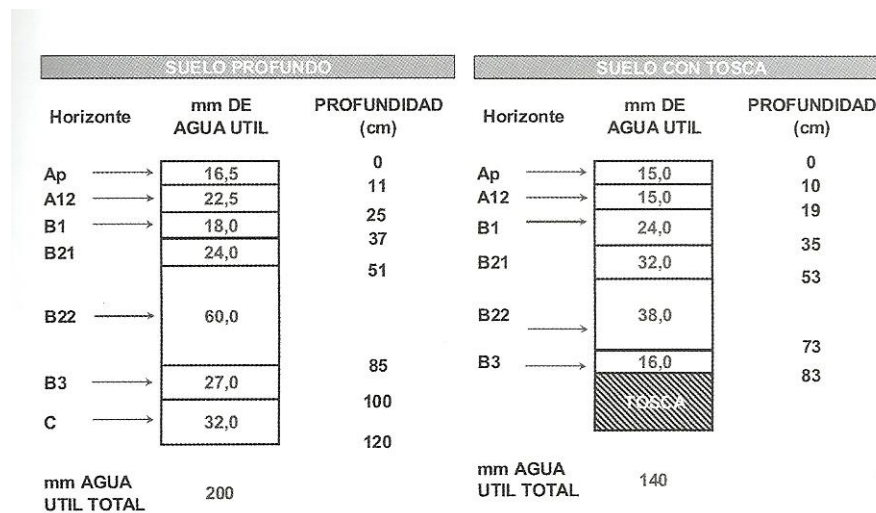


Figura 1-1: Capacidad de almacenaje de agua del suelo, por su profundidad efectiva. (Fuente: Darwich, 1989)

Climáticamente la zona se clasifica como mesotermal subhúmeda. Presenta un régimen hídrico con disminución de las precipitaciones desde el este al oeste. El promedio histórico de lluvias alcanza los 750 milímetros (Agrometeorología, CEI Barrow, 38°20'S – 60°13'W, 120 msnm). Analizando los últimos 30 años, intervalo que comprende este estudio, las décadas del 80 y 90 presentaron registros superiores, mientras que en la última década, aunque el promedio resultó similar al histórico (Figura 1-2), los valores resultaron inferiores a este en 8 de los años analizados.

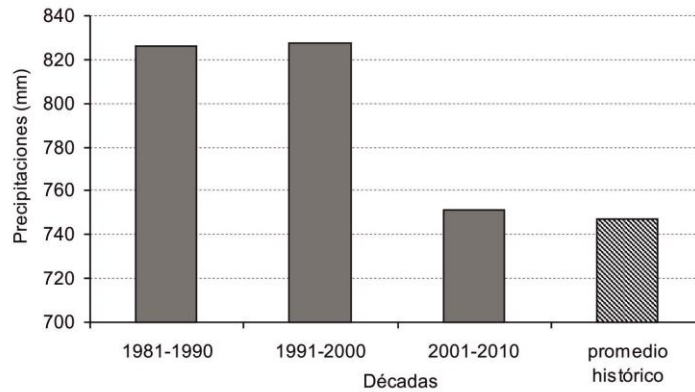


Figura 1-2: Precipitaciones promedio en las tres décadas evaluadas, y promedio histórico para Barrow (1934-2011). (Fuente: Agrometeorología CEI Barrow)

El déficit hídrico anual potencial oscila entre 229 y 255 mm (diferencia entre lluvias y evapotranspiración potencial), con mayor significancia histórica en los meses de noviembre, diciembre y enero, donde se concentra el 90% del déficit (Figura 1-3). Si a esto le sumamos el hecho ya comentado que gran parte de los suelos del área son poco profundos por la presencia de tosca que limita la capacidad de almacenaje de agua, la situación se agrava para los cultivos cuando ocurren deficiencias de precipitaciones.

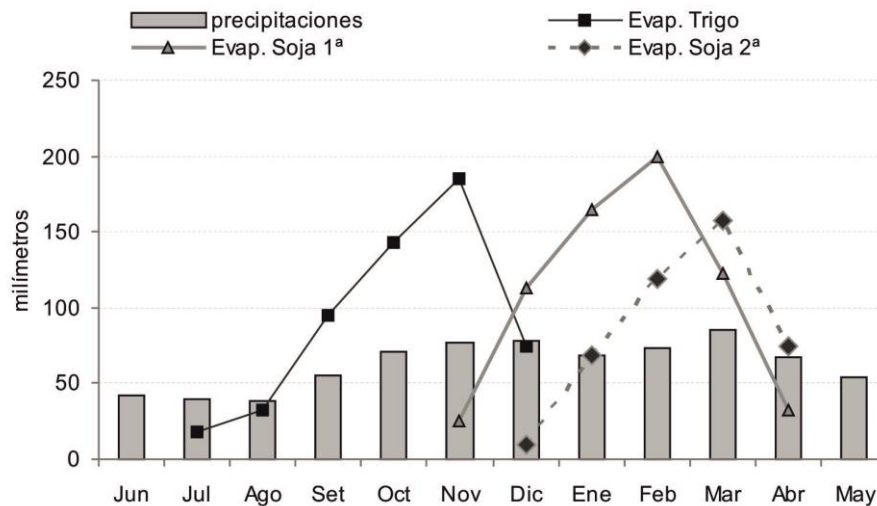


Figura 1-3: Precipitaciones y evapotranspiración para el cultivo de trigo, soja de primera (1ª) y de segunda (2ª). (Fuente: Agrometeorología CEI Barrow)

Conociendo la capacidad de almacenaje de los suelos y la distribución de las lluvias es posible ajustar la rotación de la secuencia en función de los consumos de los cultivos. Sin embargo, como en otoño, invierno y comienzos de primavera la demanda climática es baja, aquellos suelos con limitantes de profundidad llegan rápidamente a colmar su capacidad de almacenaje, aumentando el escurrimiento de las lluvias que ocurren en esas condiciones, resultando en eficiencias de barbecho relativamente bajas. Por otro lado, desde mediados de primavera y sin aportes pluviométricos de importancia, estos suelos pueden alcanzar rápidamente el límite mínimo de agua útil, aumentando la probabilidad de déficit de agua (Borda, 2012).

Las temperaturas máxima, media y mínima promedio anual son 20.4°C, 14.9°C y 7.4°C, respectivamente, caracterizando un ambiente templado con un período libre de heladas de 172 días. Las heladas van desde el 23 de abril hasta el 2 de noviembre (valores medios). El número promedio de heladas meteorológicas en el año es de 43, mientras que las heladas agronómicas suman 71.

Hacia Coronel Dorrego se acentúa como principal restricción la escasez de lluvias. Las precipitaciones se reducen hacia el sudoeste disminuyendo así las posibilidades de incorporar cultivos de verano en las rotaciones.

En los últimos 30 años, en Barrow, se han presentado 82 meses de sequías, de los cuales, 20 han sido extremas, tal como se puede ver en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Períodos secos. Duración de la sequía, en meses.

| Comienza              |      | Finaliza  |      | Duración en meses |           |          |          |           | Total     |
|-----------------------|------|-----------|------|-------------------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Mes                   | Año  | Mes       | Año  | I                 | D         | M        | S        | E         |           |
| Junio                 | 1988 | Agosto    | 1989 | 2                 | 4         | 1        | 5        | 3         | 15        |
| Abril                 | 1991 | Abril     | 1991 | 1                 | 0         | 0        | 0        | 0         | 1         |
| Julio                 | 1995 | Enero     | 1996 | 2                 | 4         | 1        | 0        | 0         | 7         |
| Setiembre             | 1996 | Noviembre | 1996 | 1                 | 2         | 0        | 0        | 0         | 3         |
| Diciembre             | 1998 | Noviembre | 1999 | 1                 | 7         | 2        | 0        | 2         | 12        |
| Julio                 | 2003 | Setiembre | 2003 | 2                 | 1         | 0        | 0        | 0         | 3         |
| Marzo                 | 2004 | Julio     | 2004 | 4                 | 0         | 0        | 0        | 0         | 4         |
| Diciembre             | 2005 | Diciembre | 2005 | 1                 | 0         | 0        | 0        | 0         | 1         |
| mayo                  | 2006 | Setiembre | 2006 | 1                 | 2         | 2        | 0        | 0         | 5         |
| Noviembre             | 2006 | Noviembre | 2006 | 0                 | 1         | 0        | 0        | 0         | 1         |
| Enero                 | 2007 | Enero     | 2007 | 1                 | 0         | 0        | 0        | 0         | 1         |
| Julio                 | 2007 | Agosto    | 2007 | 1                 | 1         | 0        | 0        | 0         | 2         |
| Diciembre             | 2007 | Febrero   | 2008 | 0                 | 1         | 1        | 1        | 0         | 3         |
| Mayo                  | 2008 | Febrero   | 2010 | 4                 | 2         | 1        | 0        | 15        | 22        |
| Setiembre             | 2011 | Octubre   | 2011 | 1                 | 1         | 0        | 0        | 0         | 2         |
| <b>Total de meses</b> |      |           |      | <b>22</b>         | <b>26</b> | <b>8</b> | <b>6</b> | <b>20</b> | <b>82</b> |

Ref.: I: incipiente, D: débil; M: moderada; S: severa; E: extrema. (Fuente: Agrometeorología CEI Barrow)

Dentro de la región se han delimitado zonas ecológicas con la finalidad de ubicar áreas geográficas que presenten cierto grado de homogeneidad en cuanto a suelo y condiciones climáticas predominantes durante el ciclo de los cultivos (Duhalde y Forján, 1985). En la Figura 1-4 se puede observar la predominancia de la zona agrícola-ganadera somera, la cual por sus características enunciadas, requiere de prácticas de manejo que contemplen sus limitaciones.

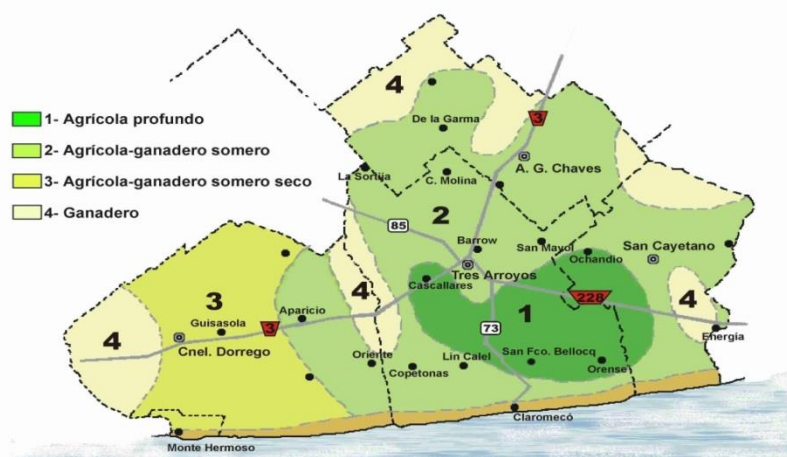


Figura 1-4: Zonas agroecológicas de la región centro-sur bonaerense. (Fuente: CEI Barrow)

La ubicación de la Chacra Experimental Integrada Barrow en la zona 2, refleja la representatividad de los estudios realizados y de la información obtenida para gran parte de los partidos de Tres Arroyos, Adolfo Gonzales Chaves, San Cayetano, Coronel Pringles y Necochea, resultando parcialmente válida para Coronel Dorrego (sólo la zona lindante con Tres Arroyos). El establecimiento de los ensayos de rotaciones y secuencias de cultivos en este ambiente, ha permitido un mejor conocimiento del comportamiento de los cultivos en relación con las características del medio. De ese modo se han podido explicar algunos de los resultados observados en la región a causa de diferentes manejos, y su incidencia sobre el rendimiento de los cultivos y calidad de sus granos, las variaciones en parámetros físicos, químicos y biológicos de los suelos, la evolución de las poblaciones de malezas, etc.

### Bibliografía

- AGROMETEOROLOGÍA. Chacra Experimental Integrada Barrow. Datos meteorológicos. Serie 1938-2011. <http://anterior.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agrometeorología>.
- BORDA, M. R. 2012. Las sequías históricas. Chacra Experimental Integrada Barrow. <http://anterior.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agrometeo/otrotrabajos/sequias2010.pdf>
- DARWICH, N. 1989. Profundidad del suelo y retención de agua. En: Manual de fertilidad de suelos. Capítulo 3. INTA-ENICHEM.
- DUHALDE, J. M. y H. J.FORJÁN,1985. Caracterización agroecológica y productiva de la zona mixta triguera. Documento de circulación interna. Chacra Experimental de Barrow.

## Capítulo 2 - Historia de los ensayos de rotaciones de la Chacra Experimental Integrada Barrow.

*La producción agropecuaria regional y su evolución en el tiempo. Principales sistemas de producción, cultivos, secuencias y sistemas de labranza. Los tratamientos estudiados y su relación con los sistemas regionales.*

Ing. Agr. Horacio Forján

La región mixta cerealera bonaerense se caracterizó tradicionalmente por el predominio de un sistema de producción agrícola-ganadero que perduró durante mucho tiempo amparado en la estabilidad del agroecosistema (Barsky, 1991). El desarrollo de una agricultura (cereales de invierno-variedades de girasol) con bajos costos de producción relativos y limitada dependencia de insumos energéticos externos al sistema, se complementó con una ganadería basada en pasturas perennes, verdeos y pastoreo de rastrojos. Eso le permitió mantenerse competitiva (Blanco,1999).

A principios de la década del '80, comenzó a vislumbrarse un cambio. Muchos establecimientos agropecuarios modificaron el uso del suelo, aumentando la proporción de esquemas con mayor presencia de agricultura en respuesta a la mayor rentabilidad que ofrecían los granos con relación a la producción animal (Darwich,1991).

El incremento de la productividad agrícola se logró con la incorporación y adaptación de tecnología en todos los cultivos (semillas de mayor potencial, herbicidas específicos, fertilizantes compuestos, etc.), obteniéndose resultados netos positivos en dicho período (Larre,2002).

Sin embargo, en muchos casos, ese aumento se realizó utilizando métodos de laboreo excesivos, inadecuados e inoportunos, planificando rotaciones o secuencias de cultivos que no contemplaron la aptitud de los suelos, con incorporación de nuevos cultivos, principalmente de verano (Forján,1999) y un escaso uso de fertilizantes (Melgar;Torres Duggan,2002; Proyecto Fertilizar,2003).

Ante esta situación se plantearon interrogantes sobre la evolución del sistema de producción en el tiempo y las consecuencias que un esquema mayoritariamente agrícola podía traer sobre los recursos naturales intervinientes (suelo-agua) y sobre la productividad de los cultivos. También se buscó conocer qué prácticas de manejo deberían emplearse para reducir el riesgo de degradación sin resignar rentabilidad.

### Ensayo de rotaciones 0

En 1982 se diagramó el primer ensayo de rotaciones (1982-1996), el cual intentó reflejar lo que acontecía en la región ante el avance de la agricultura sobre los sistemas mixtos tradicionales. Se compararon **rotaciones con pasturas versus situaciones de agricultura permanente** (incluido monocultivo de trigo), determinando, a través de la variación de la materia orgánica (MO) del suelo, la longitud posible de los ciclos agrícolas y el período con pasturas necesario para recuperar la MO perdida con los cultivos de cosecha. A partir de 1988 se incorporaron nuevas secuencias con el propósito de reforzar las respuestas obtenidas frente a las hipótesis planteadas.

Durante estos años se desarrolló la técnica de la siembra de pasturas con trigo, práctica que fue incluida en una de las secuencias con la idea de acelerar los tiempos de uso ganadero para volver rápidamente a la agricultura.

De este primer ensayo se mantiene solo una secuencia que es el monocultivo de trigo (30 años) donde en la actualidad se evalúan tratamientos de fertilización nitrogenada.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados y, a partir de 1988, con arreglo de tratamientos en parcelas divididas por introducción de la variable fertilización nitrogenada a los cultivos de trigo (las repeticiones se distribuían en el tiempo). El sistema de labranza empleado fue convencional (LC, arado de rejas, rastra de discos, rastra de dientes o vibrocultivador), respondiendo a la tecnología empleada en la región. Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Esquema de secuencias del Ensayo 0 = Comparación entre sistema mixto y agricultura permanente.

| Nº | Secuencia                        | 82  | 83 | 84 | 85 | 86    | 87    | 88  | 89    | 90      | 91    | 92 | 93 | 94      | 95  | 96      |    |    |         |
|----|----------------------------------|-----|----|----|----|-------|-------|-----|-------|---------|-------|----|----|---------|-----|---------|----|----|---------|
| 1  | Agricultura permanente           | T   | G  | T  | T  | G M S | T     | T   | T     | Av/G    | S     | M  | S  | T M G S | Av  | Ce      | Ca | Co | T       |
| 2  | Agric.perm. (Monocultivo trigo)  | T   | T  | T  | T  | T     | T     | T   | T     | T       | T     | T  | T  | T       | T   | T       | T  | T  | T       |
| 3  | Sist.Mixto (verdeos y rastrojos) | T   | G  | T  | T  | G M S | T     | T   | Av    | Av/G    | T     | M  | G  | T       | G   | T       | T  | T  | T       |
| 4  | Sistema mixto (pastura corta)    | T/P | P  | P  | P  | T M G | G T T | T   | T G   | M T G M | T/P   | P  | P  | P       | P   | P       | P  | P  | M G T S |
| 5  | Sist.Mixto (pastura intermedia)  | T   | P  | P  | P  | P     | T G   | T   | G T T | S S T   | T M S | T  | Ce | M S     | M S | M G T S | T  | T  | T       |
| 6  | Sist.Mixto (pastura larga)       | T   | G  | T  | T  | G M S | T     | T   | G     | T/P     | P     | P  | P  | P       | P   | P       | P  | P  | P       |
| 7  | Rotación tradicional             |     |    |    |    |       |       | G   | T     | G       | T     | G  | T  | G       | T   | G       | T  | G  | T       |
| 8  | Rotación agresiva                |     |    |    |    |       |       | S   | T     | S       | T     | S  | T  | S       | T   | S       | T  | S  | T       |
| 9  | Pastura corta                    |     |    |    |    |       |       | T/P | P     | P       | P     | G  | T  | G       | T   | G       | T  | G  | T       |
| 10 | Pastura larga                    |     |    |    |    |       |       | P   | P     | P       | P     | P  | T  | G       | T   | G       | T  | G  | M       |

Referencias: P: Pastura perenne – T: Trigo – G: Girasol – M: Maíz – S: Soja – Av: Avena – Ce: Cebada – Ca: Trigo Candeal – Co: Colza.

A partir de los resultados obtenidos, se establecieron diversos grados de deterioro en el sistema de producción causados por la actividad agrícola, determinándose que el tipo de cultivo incluido y su frecuencia en la secuencia, definían la extensión prudencial del período con cultivos de cosecha. También comenzaron a observarse respuestas en los rendimientos al agregado de fertilización nitrogenada a medida que se prolongaba el ciclo agrícola. La incorporación de pasturas perennes en las secuencias mixtas demostró los efectos benéficos de las mismas en la recuperación de propiedades edáficas y, por ende, sobre la sostenibilidad del sistema de producción.

### Ensayo de rotaciones 1

En los años '90 el incremento de la producción agrícola continuó siendo sostenido, no sólo por el aumento de la productividad de los cultivos con mayor utilización de insumos (agroquímicos, fertilizantes), sino también por la incorporación de mayor superficie sembrada, como una manera de maximizar el beneficio (Tabla 2-2. Chacra Exp. Integrada Barrow, Estimaciones de área sembrada, 2002).

Tabla 2-2: Variación de la superficie sembrada con cultivos de cosecha.

| Partido               | 1990/ 91      |             |               |             |                    | 2001/ 02      |             |               |             |                    |
|-----------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|--------------------|
|                       | fina          |             | gruesa        |             | % sobre sup. total | fina          |             | gruesa        |             | % sobre sup. total |
|                       | has.          | %           | has.          | %           |                    | has.          | %           | has.          | %           |                    |
| Tres Arroyos          | 234356        | 41.7        | 166879        | 29.7        | 71.4               | 243809        | 43.4        | 201773        | 35.9        | 79.3               |
| A.G. Chaves           | 143323        | 42.9        | 77712         | 23.3        | 66.2               | 142297        | 42.6        | 99911         | 29.9        | 72.5               |
| San Cayetano          | 89763         | 34.4        | 74859         | 28.7        | 63.1               | 96457         | 37.0        | 79041         | 30.3        | 67.3               |
| Cnel.Dorrego          | 248080        | 44.9        | 97074         | 17.6        | 62.5               | 305029        | 55.3        | 59703         | 10.8        | 66.1               |
| <b>Total del área</b> | <b>715522</b> | <b>41.9</b> | <b>416524</b> | <b>24.4</b> | <b>66.3</b>        | <b>787592</b> | <b>46.1</b> | <b>440428</b> | <b>25.8</b> | <b>71.9</b>        |

Fuente: Estimaciones área sembrada. CEI Barrow

Influenciada por la dimensión de las empresas agropecuarias, el aumento de la superficie manejada bajo la forma de arrendamiento (y/o contratistas), y la elección de actividades que ofrecieron en su momento un mayor resultado neto, la agricultura comenzó a prolongarse más allá de los límites que el recurso suelo aconsejaría (Censo Nac.Agropecuario, 1988; Llovet y Tort, 1990). La utilización de este sistema en el tiempo, sumado a la escasa diversificación de cultivos, ocasionó un deterioro en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, limitando la productividad del sistema y aumentando la variabilidad interanual de los rendimientos (Forján, 2000).

Los mayores rendimientos alcanzados como resultado de la mejora genética para todos los cultivos, produjeron también niveles crecientes de extracción de nutrientes (Andrade et al, 1996; Forján, 2004), con lo cual el sistema se volvió altamente dependiente de tecnologías de insumos.

De ese modo, el agroecosistema se tornó más sensible, rígido y riesgoso, con lo cual las empresas agropecuarias de limitada dimensión física o productiva, comenzaron a verse afectadas en el mediano plazo (González et al, 2002).

Para reflejar los efectos, sobre los sistemas regionales, del continuo avance agrícola y la masiva incorporación en las secuencias de los cultivos de cosecha gruesa, en 1993 se diagramó el ensayo de **agricultura permanente con labranzas** (6 secuencias de cultivos con diferentes proporciones: cultivos de fina/ cultivos de gruesa), ensayo que aún hoy continúa y que ha brindado valiosa información a través de estos años.

El objetivo del ensayo fue evaluar el impacto sobre el sistema de producción de diferentes secuencias agrícolas bajo un esquema de labores combinadas. El diseño experimental inicial en bloques completos aleatorizados fue transformado en parcelas divididas a partir de la incorporación de la variable fertilización nitrogenada.

Las labranzas empleadas se ajustaron a los cambios productivos ocurridos en los sistemas regionales con el paso de los años. Correspondió a arado rejas, rastra de discos y rastra de dientes en los primeros años; arado cincel, rastra de discos y cultivador en años posteriores y rastra de discos (2) y cultivador en la etapa final. En todos los años se ajustó la tecnología recomendada para cada cultivo.

Las secuencias estudiadas en la comparación, representaron en algunos casos a las más comunes utilizadas en la región y en otros a situaciones factibles de ser implementadas en el momento del inicio del ensayo. (Tabla 2-3). Al sexto año todas las secuencias coincidieron en el cultivo de trigo, por lo que hasta la actualidad se llevan evaluados 3 ciclos completos.

Tabla 2-3: Esquema de secuencias del Ensayo 1= Agricultura permanente con labranzas.

|      | 1er. Ciclo  | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 2do.Ciclo   |      | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|      | 3er.Ciclo   |      | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Nro. | Secuencia   |      |      |      |      |      |      |      |
| 1    | M/T/M/T/M/T | T    | M    | T    | M    | T    | M    | T    |
| 4    | G/T/G/T/G/T | T    | G    | T    | G    | T    | G    | T    |
| 5    | S/T/S/T/S/T | T    | S    | T    | S    | T    | S    | T    |
| 2    | G/T/T/G/T/T | T    | G    | T    | T    | G    | T    | T    |
| 3    | M/S/T/M/S/T | T    | M    | S    | T    | M    | S    | T    |
| 6    | M/G/T/M/G/T | T    | M    | G    | T    | M    | G    | T    |
| 7    | T/T/T/T/T/T | T    | T    | T    | T    | T    | T    | T    |

Referencias: T – Trigo; G – Girasol; M – Maíz; S - Soja

En todas las secuencias estuvo presente el trigo como cultivo representativo de los cereales de invierno. Las variaciones estuvieron dadas por la presencia y/o repetitividad de los cultivos de verano. Así pues, la secuencia 1 representó la inclusión de dos gramíneas que aportarían elevados volúmenes de rastrojos favoreciendo los niveles de

MO del suelo. Algo similar ocurrió con la 6, donde la inclusión de maíz en la secuencia trigo/girasol permitiría atenuar la caída de MO, según la información obtenida en los resultados del Ensayo 0.

Las secuencias 2 y 4 fueron incluidas por ser comúnmente empleadas en la región debido a la favorable adaptación que tenían trigo y girasol a sembrarse en forma intercalada, mientras que la incorporación de soja en la 5, representó a aquellos sistemas que poseen un mayor potencial de producción de granos y que responderían a las altas exigencias de este esquema de cultivos. Finalmente, la secuencia 3 intentó ejemplificar una situación de mayor agresión hacia el sistema de producción, ya que el escaso aporte de rastrojo que produce la soja y su repetitividad en el tiempo sobre un mismo suelo, atentaría contra los parámetros edáficos en general y sobre los niveles de MO en particular, aspectos que ya estaban siendo alertados desde experiencias llevadas adelante en el norte de la región pampeana (Michelena et al., 1989). Anualmente se realizaron mediciones referidas a los cultivos. Al final de cada ciclo (6 años), sobre el rastrojo de trigo, se realizaron las evaluaciones físicas de suelo y las determinaciones de MO.

A partir de la prolongación de los ciclos agrícolas (Forján, 1999) y el aumento del potencial de producción en todos los cultivos (García, 2003), se hizo necesario estudiar la exportación de nutrientes del sistema de producción a los efectos de constatar el nivel de reposición efectuado. Las fertilizaciones que se realizaron con P fueron comunes a todos los cultivos (fosfato diamónico a la siembra) y se basaron en el análisis de suelo previo a la implantación. En los ciclos 1 y 2 solamente fueron fertilizados con nitrógeno (N) aquellos cultivos que en experiencias previas demostraron una respuesta económica. Por ejemplo, la fertilización nitrogenada (urea) para trigo y maíz en postemergencia. A partir del ciclo 3 se incorporó también en girasol y variantes de dosis en todos los cultivos, a excepción de soja.

Se observó que la extracción de nutrientes en el ciclo agrícola estuvo asociada al tipo de cultivo incluido en la secuencia, al rendimiento de los cultivos antecesores, a las condiciones climáticas que afectaron directamente la producción y a la cantidad y calidad de los rastrojos que quedaron luego de cada cultivo. A partir de la información obtenida se manifestó la importancia de conocer en forma integrada todos estos factores que afectaban al sistema de producción con el propósito de tomar conciencia de la pérdida de nutrientes y la necesidad de su reposición.

Desde el punto de vista edáfico resultaron muy impactantes las variaciones en los valores de MO. Todas las secuencias mostraron caídas a través del tiempo. El laboreo del suelo provocó pérdidas que variaron con el tipo de cultivo interviniente y su frecuencia en la secuencia, reportándose deterioros muy marcados en aquellas secuencias con mayor presencia de oleaginosas, especialmente soja.

El ensayo se mantiene en plena vigencia y la información generada es ampliamente difundida.

## Ensayo de rotaciones 2

Frente a los primeros pasos de adopción de la siembra directa (SD) en la región, en 1997 se inició el ensayo de **comparación de labranzas (LC vs SD)** partiendo de dos historias de uso del suelo). Este ensayo aún continúa en ejecución, habiéndose logrado hasta el momento valiosísima información plasmada en la realización de tesis de posgrado y en varios trabajos presentados en Congresos. Se empleó la rotación agrícola que presentó la menor caída de MO en el ensayo 0, determinándose ciclos de 5 años. El objetivo fue evaluar el efecto de dos sistemas de labranza sobre los parámetros físicos y químicos del suelo y los rendimientos de los cultivos, en un ambiente edáfico sometido a diferentes intensidades de uso previo. Se empleó un diseño de bloques divididos y los factores analizados fueron: 1- Historia (suelo con 12 años de historia agrícola y suelo descansado en rotación con pasturas), 2- Labranza (convencional versus siembra directa), y 3- Fertilización (dosis de nitrógeno).

A través de este ensayo se compararon los distintos manejos que comenzaban a convivir en la región evaluando fundamentalmente la adaptación del sistema de SD al ambiente en estudio.

A partir del inicio del ciclo 3 (2007) se modificaron los cultivos intervinientes en la secuencia en respuesta a los cambios producidos a nivel regional en los sistemas de producción.

Tabla 2-4: Cultivos intervinientes en el Ensayo 2= Secuencia de cultivos en siembra directa y labranza convencional sobre distinta historia de uso del suelo.

|         | Ciclo 1 |      |      |      |      | Ciclo 2 |      |      |      |      | Ciclo 3 |      |      |      |      | Ciclo 4 |      |      |      |      |
|---------|---------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|
| Año     | 1997    | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002    | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007    | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012    | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Cultivo | G       | T    | M    | G    | T    | G       | T    | M    | G    | T    | M       | S    | T    | G    | T    | M       | S    | T    | G    | T    |

Ref.: T: Trigo – G: Girasol – M: Maíz – S: Soja

Las incógnitas planteadas sobre la adaptación de la SD a los ambientes de la región, fueron abordadas a partir de dos historias de uso del suelo. Estas situaciones diferenciadas permitieron evaluar la evolución a través de los años de distintos aspectos del sistema de producción (rendimiento de cultivos y calidad de granos, balance de nutrientes, poblaciones de malezas, propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, etc.) cuando fueron trabajadas con dos sistemas de labranza (LC y SD).

La trascendencia de este ensayo fue estratégica para la región, ya que permitió analizar la evolución de variables fundamentales en la sostenibilidad del sistema productivo regional a partir del cambio en la tecnología aplicada.

## Ensayo de rotaciones 3

La rápida adopción de la SD planteó una fuerte demanda de los grupos de productores relacionados a la Chacra Experimental (Cooperativas, Aapresid, CREA), quienes requerían información sobre las posibles secuencias a implementar con esta técnica y los efectos de la inclusión de la ganadería.

Si bien la SD se difundió tardíamente con respecto al resto de la región pampeana, su crecimiento fue sostenido (Figura 2-5) y diversificado. La necesidad de evaluar el comportamiento de los cultivos en cuanto a rendimiento y calidad, perdurabilidad de sus rastrojos, susceptibilidad a plagas y enfermedades, evolución de malezas, se vio

incrementada con los interrogantes que se planteaban sobre la respuesta de los suelos de la región ante el desarrollo de esta técnica, fundamentalmente en aquellos sistemas que mantenían el sistema mixto predominante y sus consecuencias en cuanto a compactación y densificación.

También surgió la necesidad de evaluar qué cultivos podían adaptarse a este nuevo manejo, teniendo en cuenta que la acumulación de rastrojos en superficie podía resultar un inconveniente serio si su velocidad de degradación resultaba menor a la de la región núcleo por las bajas temperaturas que suceden en esta zona.

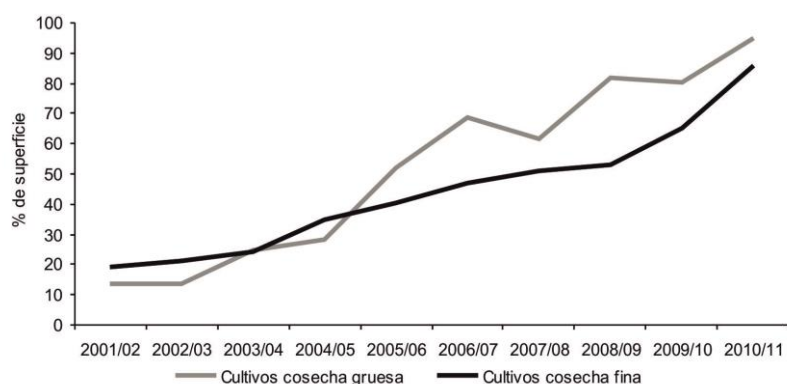


Figura 2-1: Evolución de la superficie agrícola bajo siembra directa en la región. Fuente: Recorridos de estimación uso del suelo en la región. CEI Barrow

En 1998 comenzó el **ensayo de rotaciones en SD**, el que fue implantado en un lote con menor profundidad de suelo (tosca a 50 cm), intentando representar los suelos regionales con esta característica. Por ese entonces, aquellos establecimientos agropecuarios situados en un ambiente similar, buscaban incorporar mayor proporción de agricultura y con esta técnica lograr mejorar aspectos relacionados al balance hídrico de los cultivos. El desafío era adquirir conocimientos y experiencias que nos llevaran a definir las estrategias de manejo que optimizaran el funcionamiento de los sistemas regionales.

El objetivo del ensayo fue evaluar el efecto de distintas secuencias de cultivos sobre la producción y calidad de los mismos, dinámica de la población de malezas, enfermedades, plagas y sobre las propiedades del suelo en SD continua. Se empleó un diseño de bloques aleatorizados.

En SD es importante planificar la secuencia de cultivos para potenciar sus resultados. La periodicidad e intensidad con que se repiten los cultivos influyen sobre la cantidad y calidad del rastrojo aportado al suelo, el consumo relativo de diferentes nutrientes, el volumen de suelo explorado por las raíces, el consumo de agua, el control de patógenos y plagas, etc. La SD genera importantes cambios cuali y cuantitativos a nivel del suelo, puesto que la cobertura con rastrojos y la no remoción generan un hábitat con condiciones de humedad y temperatura totalmente diferente al hallado en LC.

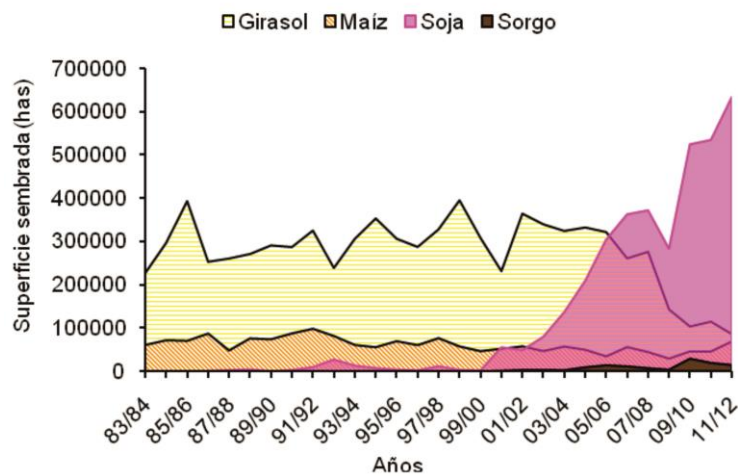
Se diagramaron cinco secuencias, tres exclusivamente agrícolas y dos mixtas, las que incluyeron pastoreo directo. Las agrícolas respondieron a los siguientes esquemas: 1- Agrícola conservacionista, 3- Agrícola de invierno para suelos limitados y 5- Agrícola intenso. Las mixtas fueron: 2- Mixto en rotación con pasturas (sin verdeos) y 4- Mixto tradicional con verdeos. Se establecieron ciclos de 6 años los que finalizaron con trigo en todas las secuencias. En el otoño siguiente, sobre el rastrojo de trigo, común a todos los tratamientos, se realizaron las determinaciones físicas de suelo. Tabla 2-5.

Tabla 2-5: Cultivos intervinientes en Ensayo 3= Rotaciones de cultivos en SD

| Secuencia   | CICLO 1       |               |               |               |               |               |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|   | Año 1<br>1998 | Año 2<br>1999 | Año 3<br>2000 | Año 4<br>2001 | Año 5<br>2002 | Año 6<br>2003 |
| 1 Agrícola conservacionista                             | MAIZ          | GIRASOL       | TRIGO         | MAIZ          | GIRASOL       | TRIGO         |
| 2 Mixto: rotación con pasturas (sin verdeos)            | SOJA          | TRIGO         | PASTURA       | PASTURA       | PASTURA       | TRIGO         |
| 3 Agrícola de invierno ( para suelos limitados)         | GIRASOL       | TRIGO         | GIRASOL       | TRIGO         | GIRASOL       | TRIGO         |
| 4 Mixto: tradicional con verdeos.                       | TRIGO         | AV/GIRASOL    | TRIGO         | AV/GIRASOL    | TRIGO         | TRIGO         |
| 5 Agrícola intenso                                      | TRIGO         | AV/SOJA       | CZ/SOJA       | CEB/SOJA      | TRIGO/SOJA    | TRIGO         |
| Secuencia   | CICLO 2       |               |               |               |               |               |
|   | Año 1<br>2004 | Año 2<br>2005 | Año 3<br>2006 | Año 4<br>2007 | Año 5<br>2008 | Año 6<br>2009 |
| 1 Agrícola conservacionista                             | GIRASOL       | TRIGO         | SORGO         | TRIGO         | SOJA          | TRIGO         |
| 2 Mixto: rotación con pasturas (sin verdeos)            | SOJA          | CZ/SOJA       | TRIGO         | SORGO         | SOJA          | TRIGO         |
| 3 Agrícola de invierno ( para suelos limitados)         | CZ/SOJA       | TRIGO         | CEB/SOJA      | CZ/SOJA       | CEB/SOJA      | TRIGO         |
| 4 Mixto: tradicional con verdeos.                       | Av V/GIRAS    | TRIGO         | Av V/GIRAS    | TRIGO         | Av V/SOJA     | TRIGO         |
| 5 Agrícola intenso                                      | SOJA          | CEB/SOJA      | CZ/SOJA       | CEB/SOJA      | CZ/SOJA       | TRIGO         |
| Secuencia   | CICLO 3       |               |               |               |               |               |
|   | Año 1<br>2010 | Año 2<br>2011 | Año 3<br>2012 | Año 4<br>2013 | Año 5<br>2014 | Año 6<br>2015 |
| 1 Agrícola conservacionista                             | SORGO         | GIRASOL       | TRIGO         | SORGO         | SOJA          | TRIGO         |
| 2 Mixto: rotación con pasturas (sin verdeos)            | TRIGO c/ PAST | PASTURA       | PASTURA       | PASTURA       | PAST/SOJA     | TRIGO         |
| 3 Agrícola base oleaginosa                              | SOJA          | CZ/SOJA       | SOJA          | CZ/SOJA       | SOJA          | TRIGO         |
| 4 Mixto: tradicional con verdeos (cultivo de cobertura) | Av V/GIRAS    | TRIGO         | Av V/GIRAS    | TRIGO         | Av V/SOJA     | TRIGO         |
| 5 Agrícola intenso                                      | SOJA          | CEB/SOJA      | TRIGO         | SOJA          | CEB/SOJA      | TRIGO         |

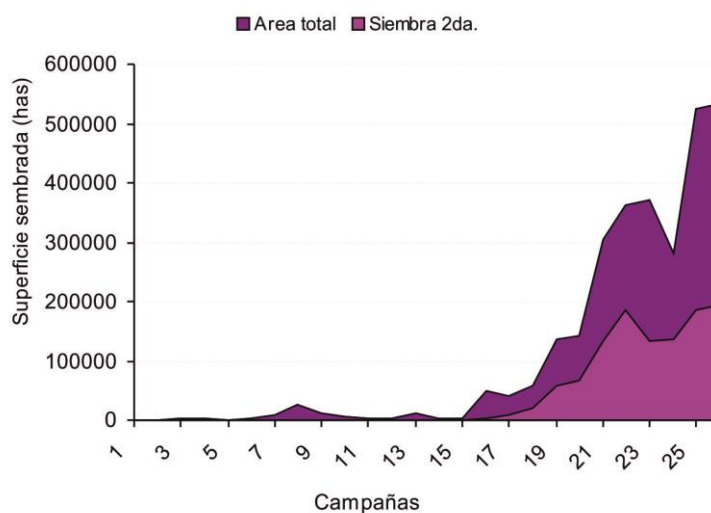


Los tratamientos sufrieron modificaciones al final de cada ciclo. Los mismos reflejaron los cambios a nivel de elección de cultivos ocurrido en la región donde, en los últimos años, se planteó un fuerte proceso de “sojización” con importante presencia de siembras de segunda (Figuras 2-2 y 2-3).



Fuente: Recorridas estimación uso del suelo. CEI Barrow

Figura 2-2: Superficie sembrada en la región con cultivos de cosecha gruesa



Fuente: Recorridas estimación uso del suelo. CEI Barrow

Figura 2-3: Superficie sembrada en la región con soja de primera y de segunda

Además de las modificaciones en propiedades físicas y químicas, la SD favorece fuertemente la actividad biológica (Moreno et al., 2011; Nesci et al., 2006), y los microorganismos presentes en el suelo responden de manera integrada y sensible a los cambios producidos en el ambiente por los distintos manejos aplicados (Turco et al., 1994).

Por esta razón, se entendió la necesidad de analizar la macro, meso y microfauna como componentes específicos para entender el impacto de los distintos manejos sobre la calidad del suelo y la sustentabilidad de las prácticas agronómicas.

Con este ensayo se buscaron detectar las ventajas y limitantes que otorga este tipo de sistema de labranza para cada rotación, permitiendo elaborar alternativas o propuestas mejoradas. La importancia de contar con información local permitió tener un panorama real de la incorporación de la SD en un sistema agroecológico representativo.

La importante adhesión al sistema de SD ocurrido en la región, resalta el carácter demostrativo del ensayo el que resulta una referencia para todos aquellos productores o grupos de trabajo que hoy en día buscan conocer los resultados que pueden obtenerse a partir de la innovación con esta tecnología en sus propios establecimientos.

#### Información obtenida

En todos los ensayos descritos fueron empleados métodos y mediciones siguiendo los procedimientos y protocolos estandarizados para cada técnica en particular utilizados habitualmente en este tipo de ensayos.

Tabla 2-6: Variables medidas en los ensayos de rotaciones

| De Suelo   | De Cultivo  |
|--|---|
| <i>Anualmente:</i>   | <i>Anualmente:</i>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad de nutrientes, acidez y agua a la siembra.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia seca de biomasa</li> <li>• Rendimiento y sus componentes</li> <li>• Calidad de granos. Aporte de rastrojos</li> </ul>                    |
| <i>Al final de cada ciclo (cada 5-6 años):</i>   | <i>Al final de cada ciclo:</i>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad aparente</li> <li>• Penetrometría;</li> <li>• MO y sus fracciones. Balance de carbono.</li> <li>• Estabilidad de agregados.</li> <li>• Infiltración y escurrimiento.</li> <li>• Fauna edáfica (macro, meso y microfauna).</li> <li>• Comunidades fúngicas y actividad enzimática.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdurabilidad de rastrojos.</li> <li>• Evolución de la población de malezas, plagas y enfermedades.</li> <li>• Balance de nutrientes</li> </ul> |

Los resultados obtenidos en todos estos ensayos (rendimiento de cultivos y calidad de granos; balances de nutrientes, carbono y agua; evolución de las poblaciones de malezas, plagas y enfermedades; cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; efecto de la rotación con pasturas; etc.), permitieron evaluar desde un punto de vista sistémico, las modificaciones que ocurren con la aplicación de distintos manejos a los sistemas productivos regionales. También posibilitaron el inicio de nuevas líneas de trabajo. La obtención de la información se logró gracias a un cuidadoso mantenimiento y control de las condiciones experimentales y al esfuerzo del personal de apoyo y de investigadores que participaron en el transcurso de estos 30 años.

La difusión se realiza a través de presentaciones en reuniones técnicas, jornadas y cursos, informes, boletines técnicos, revistas de alcance local, regional, nacional y presentación de trabajos en Congresos Nacionales e Internacionales. Recientemente, la difusión de artículos a través de la página web de la Experimental ha alcanzado un efecto multiplicador de alto impacto.

## Bibliografía

- ANDRADE, F. H.; H. ECHEVERRÍA; N. GONZÁLEZ; S. UHART y N. DARWICH. 1996. Boletín Técnico Nro. 134. INTA Balcarce. Requerimientos de N y P de maíz, girasol y soja.
- BARSKY, O. et al., 1991. Ed. El desarrollo agropecuario pampeano. INDEC/INTA/IICA. Buenos Aires.
- Blanco, R., 1999. Desarrollo sustentable. Las principales transformaciones agrarias sobre la base de la incorporación de sistemas conservacionistas en la región pampeana. Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. PIEA. Buenos Aires.
- CENSO NACIONAL AGROPECUARIO 1988. Datos estadísticos de la región. [www.indec.gov.ar/censoAgro2008/cna2008.asp](http://www.indec.gov.ar/censoAgro2008/cna2008.asp)
- CHACRA EXPERIMENTAL INTEGRADA BARROW. Estimaciones anuales de área sembrada, 2002-2011.
- DARWICH, N. 1991. Estado actual y manejo de los recursos naturales en la Región Pampeana Sur. P. 51-62. En Seminario Juicio a Nuestra Agricultura. Hacia el desarrollo de una agricultura sostenible. En: Actas Seminario Instituto nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 14-15 de noviembre de 1991. Hemisferio Sur, Bs. As., Argentina.
- FERTILIZAR. 2003. Proyecto Fertilizar INTA. <http://www.fertilizar.org>.
- FORJÁN, H. 1999. Intensificación agrícola en la región. Rev. AgroBarrow Nro.25 (9-11).
- FORJÁN, H. 2000. Rotaciones en sistemas mixtos. La pastura perenne base de la agricultura sustentable en la región. Chacra Exp. Integrada Barrow. Mat.Didáctico Nro.1 (11 pp).
- FORJÁN, H. 2004. Balance de nutrientes en secuencias agrícolas. Informaciones agronómicas N°21. Inpofos. (Pp.8-11).
- GARCÍA, F. 2003. Balance de nutrientes en la rotación: Impacto en rendimientos y calidad del suelo. 2º Simposio de Fertilidad y Fertilizantes en Siembra Directa. Aapresid, Proyecto Fertilizar e Inpofos.
- GONZÁLEZ, M.; I. ARRECHEA; M. C. PONTINO y M. ROMÁN. 2002. Los productores pampeanos. Una visión desde Tres Arroyos. En Actas VI Congreso de la Asoc.Latinoamericana de Sociología Rural.
- LARRE, J. 2002. Agriculturización en la región pampeana. Análisis de su evolución en zonas mixtas a través de datos secundarios. Tesis de graduación, FAUBA. Buenos Aires.
- LLOVET, I.; M. TORT. 1990. Modernización de la agricultura, tenencia de la tierra y conservación del suelo: Reflexionar sobre la problemática del contratismo. Seminario Juicio a Nuestra Agricultura, INTA. Buenos Aires.
- MELGAR, R. J.; M. TORRES DUGGAN, 2002. Evolución histórica y perspectivas del mercado argentino de fertilizantes. En: Productos y Servicios en el Comercio Moderno de Fertilizantes. 276 pp. INTA Pergamino.
- MICHELENA, C.; C. B. IRURTIA; F. A. VAVRUSKA; R. MON; A. PITTALUGA. 1989. Degradación de suelos del Norte de la Región Pampeana. Publicación Técnica 6. INTA. Centros Regionales Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe. Proyecto Agricultura Conservacionista.
- MORENO, M. V.; L. B. SILVESTRO; H. FORJAN; L. MANSO; C. BERÓN; A. ARAMBARRI. 2011. Ocurrencia de especies fúngicas en un suelo del centro-sur bonaerense: respuesta a diferentes manejos agrícolas. XII Congreso Argentino de Micología, Posadas, Misiones, Argentina.
- NESSI, A., G. BARROS; C. CASTILLO; M. ETCHEVERRY. 2006. Soil fungal population in preharvest maize ecosystem in different tillage practices in Argentina. Soil & Tillage Research, 91:143-149.
- TURCO, R. F.; A. C. KENNEDY; M. D. JAWSON. 1994. Microbial indicators of soil quality. In: Doran, J.W. (Ed.) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science of Society of America, Special Publication 35, Madison, WI, pp. 73-90.

## Capítulo 3- La secuencia de cultivos

---

*Ventajas de la rotación de cultivos. La secuencia de cultivos y sus efectos. Factores que generan variabilidad en los rendimientos. Antecesor, secuencia, sistema de labranza. La importancia de la pastura. Cultivos de cobertura. El doble cultivo.*

---

Ing. Agr. Horacio Forján; Ing. Agr (MSc) Lucrecia Manso

La alternancia planificada de diferentes cultivos (incluyendo también como cultivos a las pasturas y verdes), es una práctica comprobada para mantener la diversificación y potenciar el funcionamiento de los agroecosistemas. Su adopción presenta ventajas desde el punto de vista productivo y empresarial (Francis; Clegg, 1990; Urbano; Moro 1992), destacándose las siguientes:

- Un mejor aprovechamiento de los recursos suelo y agua mediante la capacidad diferencial que tienen las especies de explorar diferentes estratos del perfil del suelo, modificando la distribución y función de los poros, mejorando las propiedades físicas y químicas del mismo, y el balance hídrico para los cultivos.
- El diferente aporte de rastrojos en cuanto a cantidad y calidad, brinda condiciones adecuadas para promover una mayor diversidad y actividad biológica (microorganismos), responsables de la mineralización, formación y reciclado de la materia orgánica (MO) y la disponibilidad de nutrientes.
- La inclusión de cultivos con diferentes patrones de consumo de nutrientes y/o de aportes a través de la fijación de nitrógeno, contribuye a establecer una mayor diversificación en el sistema.
- Se corta el ciclo de malezas (a través del uso diferenciado de herbicidas para su control), plagas y enfermedades, a través de un efecto inhibitorio causado por la falta de hospedantes.
- Disminuir los riesgos de la producción, al diversificar aspectos climáticos y de mercado, es otro aspecto importante que permite distribuir equilibradamente ingresos y egresos de la empresa.
- Hacer eficiente la utilización de los recursos humanos de un establecimiento y mejorar el aprovechamiento de maquinaria e instalaciones, resultan en mejoras operativas de gran trascendencia.
- Todas estas ventajas nos llevan a definir a la rotación de cultivos como una herramienta estratégica para los sistemas de producción.

### Planificación de la secuencia:

Cuando programamos una secuencia de cultivos para un lote determinado, la primera premisa a tener en cuenta es que se deben alcanzar producciones rentables, pero sin comprometer la capacidad productiva del recurso suelo, evitando generar externalidades negativas en otros componentes del ambiente (aire, agua y diversidad biológica). En esta planificación es necesario armonizar aspectos productivos, económicos y ambientales (Bianchini; Lorenzatti, 2001; Forján; Manso, 2006).

Se deben analizar rotaciones que se ajusten a la oferta ambiental, adaptar la tecnología disponible y en base a ello, establecer estrategias ajustadas a ese ambiente (Studdert et al., 2006).

Aparece entonces el término **diversidad**, el que debe alcanzar niveles adecuados para cumplir con las metas fijadas para cada situación. Una baja diversidad (pocas especies rotadas llegando al monocultivo como situación extrema) puede llevar a problemas de producción y rentabilidad. Una mayor diversidad que la necesaria puede reducir la eficiencia, ya que deben ser manejados y comercializados un elevado número de cultivos.

Los cultivos se clasifican de acuerdo a su morfología y hábito de crecimiento en: gramíneas de estación fría y cálida, y cultivos de hoja ancha de estación fría y cálida. Estas especies presentan períodos diferentes de siembra, madurez, cosecha, tienen distintos hábitos de crecimiento y momentos de uso de nutrientes y agua (Beck, 2001).

El índice de diversidad de una rotación se incrementa cuando se logra una alternancia balanceada de este tipo de cultivos y cuanto mayor es el número de años que separan al mismo cultivo en la secuencia.

Relacionado con esto, surge en los últimos años la necesidad de obtener un mayor rendimiento por unidad de área y tiempo, proceso denominado **intensificación de la rotación**. Este índice representa la intensidad con que se están utilizando los recursos que un determinado agroecosistema ofrece. Cuando se aumenta el índice, se incrementa la demanda por recursos de los cultivos, por lo que deben considerarse los límites que cada sistema de producción plantea (Studdert, 2006). Es importante ajustar la intensidad a la realidad climática y productiva de cada zona, en nuestro caso, principalmente a la disponibilidad de agua. El suelo y las características climáticas juegan un papel importante en determinar cuál es la intensidad adecuada para cada ambiente.

Recientemente se ha difundido el término **intensificación sustentable** de la secuencia de cultivos, que tiene por objetivo mantener o incrementar los actuales niveles productivos con un uso más intenso de los recursos del ambiente (agua y radiación solar), a través de tecnologías de procesos, con un uso racional de los insumos. Las propuestas basadas en la intensificación sustentable deben ser económicamente viables, socialmente aceptables y ambientalmente sostenibles (Caviglia; Novelli, 2011).

Al integrar diversidad e intensidad de la rotación se hace necesario analizar la secuencia. Una manera de evaluar la estabilidad del sistema de producción es considerar todo el proceso productivo durante un período definido, que puede ser una secuencia prefijada o un ciclo determinado de varios años (Forján; Manso, 2006). Ello permite enfocar,

de una manera integral, los factores productivos involucrados en todo el proceso y medir las variaciones que ocurren en el tiempo y los posibles condicionantes que el sistema deberá afrontar en el futuro.

### Los cultivos involucrados:

El cultivo de trigo presenta su mayor área de siembra en el sur de la provincia de Buenos Aires, resultando ser el cultivo de mayor trascendencia en la región de influencia de la Experimental en el período analizado. Sus rendimientos han estado marcados por variaciones interanuales que, entre otras razones, han sido asociadas a su implantación en diferentes ambientes productivos (Bergh et al, 1996; Kruger, 1996). Esta sensibilidad a los cambios originados por el manejo, ha llevado a usarlo como un cultivo de referencia en todos los ensayos ya descritos (Forján et al., 2001).

Cuando se compararon los rendimientos del monocultivo de trigo frente a dos situaciones en rotación: a) con girasol (1 cultivo de invierno/1 cultivo de verano), o b) con maíz/girasol (1 cultivo de invierno/2 cultivos de verano), los resultados favorecieron a los esquemas en rotación (promedio a=+240 y b=+380 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente) con respecto al monocultivo, corroborando los beneficios de la diversificación en la secuencia (Figura 3-1).

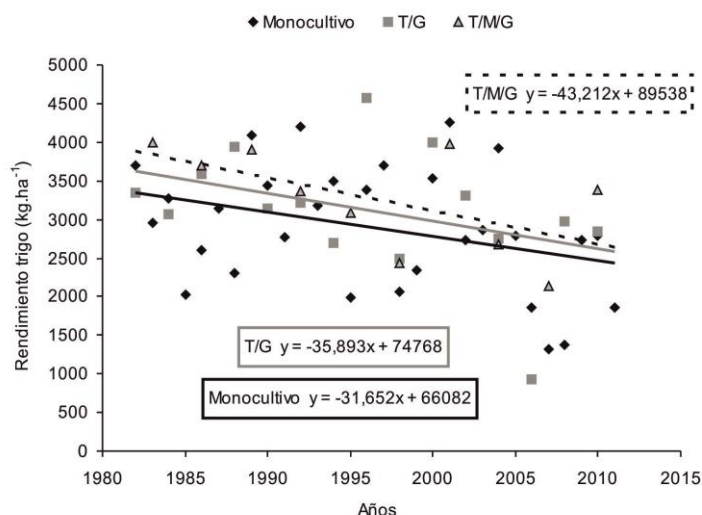


Figura 3-1: Monocultivo de trigo: Comparación con secuencias agrícolas en rotación. Fuente: Ensayos de Rotaciones con labranzas CEI Barrow

Si bien a través de estos años, el mejoramiento genético permitió acrecentar el rendimiento potencial del grano, su expresión dependió del efecto ambiental y de la interacción genotipo-ambiente. Es así que, para un mismo ambiente, años con condiciones climáticas distintas produjeron diferentes respuestas para los mismos tratamientos (Figura 3-2).

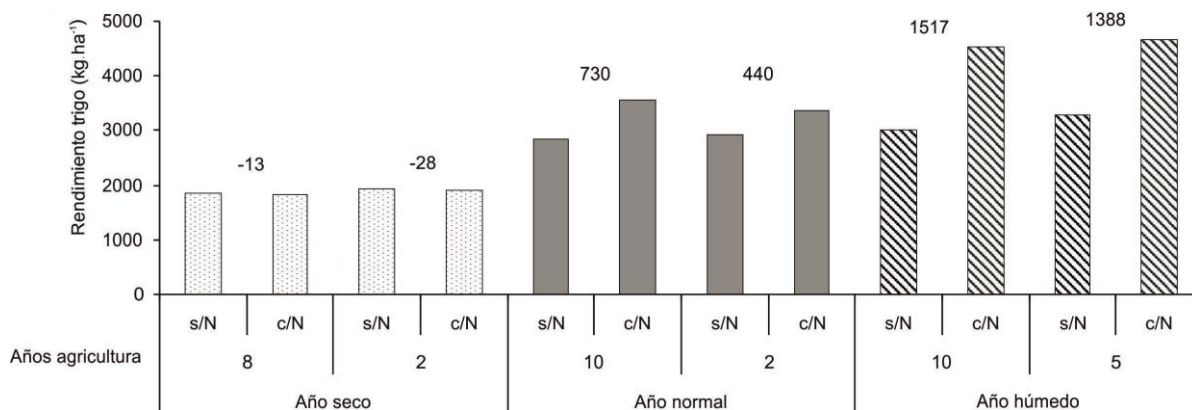


Figura 3-2: Respuesta al agregado de nitrógeno (100 kg/ha Urea) según años de agricultura con condiciones climáticas diferentes (s/N: sin nitrógeno, c/N: con nitrógeno). Fuente: Ensayos de Rotaciones con labranzas CEI Barrow.

El sistema de labranza, la historia agrícola del lote o el cultivo antecesor, también generan ambientes diferenciados que obligan a modificar prácticas de manejo del cultivo como la fertilización (García, 2009).

### Las labranzas:

Para el caso de la región en estudio, el sistema de labranza empleado tuvo una gran importancia, alterando el sistema de producción de distintas maneras. Sus efectos sobre propiedades físicas y microbiológicas del suelo como así

también sobre la materia orgánica, será abordado en próximos capítulos. En éste, se tratará su importancia sobre la oferta de nutrientes en la secuencia.

El laboreo del suelo produce una mayor mineralización de la MO, que se traduce en mayor oferta de nutrientes para los cultivos a implantar. El empleo de siembra directa (SD) en cambio, limita la disponibilidad de nutrientes por ausencia de remoción (Dominguez et al., 2005).

En el Ensayo 2, donde se analizaron labranza convencional (LC) y SD bajo una rotación típica para la región (Capítulo 2), se comparó la oferta de nitrógeno de nitratos (N (NO<sub>3</sub>)) previo a la siembra de los cultivos, durante un período de 10 años, partiendo de dos situaciones previas diferenciadas (suelo descansado a partir de una pastura alfalfa/pasto ovillo de 4 años, y suelo con 12 años de historia agrícola).

En este suelo se presentó una mayor oferta bajo LC desde el primer año, diferencia que se acentuó en los años siguientes hasta desaparecer en el décimo año (Figura 3-3a). La mineralización fue muy importante del año 2 al 6 donde se presentó la mayor amplitud entre labranzas (67,23 kg.N ha<sup>-1</sup>). Si bien en los años 7, 8 y 9 las diferencias se atenuaron, estas resultaron igualmente significativas a favor de la LC.

En el suelo más descansado, proveniente de antecesor pastura, también fue mayor la oferta bajo LC hasta el año 8, con respecto a SD (Figura 3-3b). Esa diferencia entre labranzas fue menos marcada en esta situación que con el antecedente de una mayor historia agrícola, alcanzándose una amplitud máxima de 59,61 kg.N ha<sup>-1</sup> hacia el año 6, disminuyendo en el año 7 y desapareciendo en los 3 años finales. Si se comparan los valores promedio, la LC mineralizó 703,66 kg N ha<sup>-1</sup> durante los 10 años, un 47,80% superior a la SD.

Cuando se compararon las historias bajo LC, se pudieron observar diferencias entre ellas en los años 1, 2 y 6, donde el suelo más descansado ofreció una mayor disponibilidad, estabilizándose posteriormente (Figura 3-3c).

Bajo SD, con valores de mineralización muy inferiores, se dio la misma tendencia (Figura 3-3d). Se presentó un mayor suministro hasta el año 6, mostrando las ventajas de iniciar el ciclo agrícola en un mejor ambiente con esta técnica. La oferta bajo SD resultó inferior en ambas historias con relación a la LC, producto de la no remoción y menor mineralización.

En promedio, durante el período analizado, el suelo proveniente de pastura registró un aporte de 614,85 kg N ha<sup>-1</sup>, un 9% superior al suelo con mayor historia agrícola.

### Las labranzas:

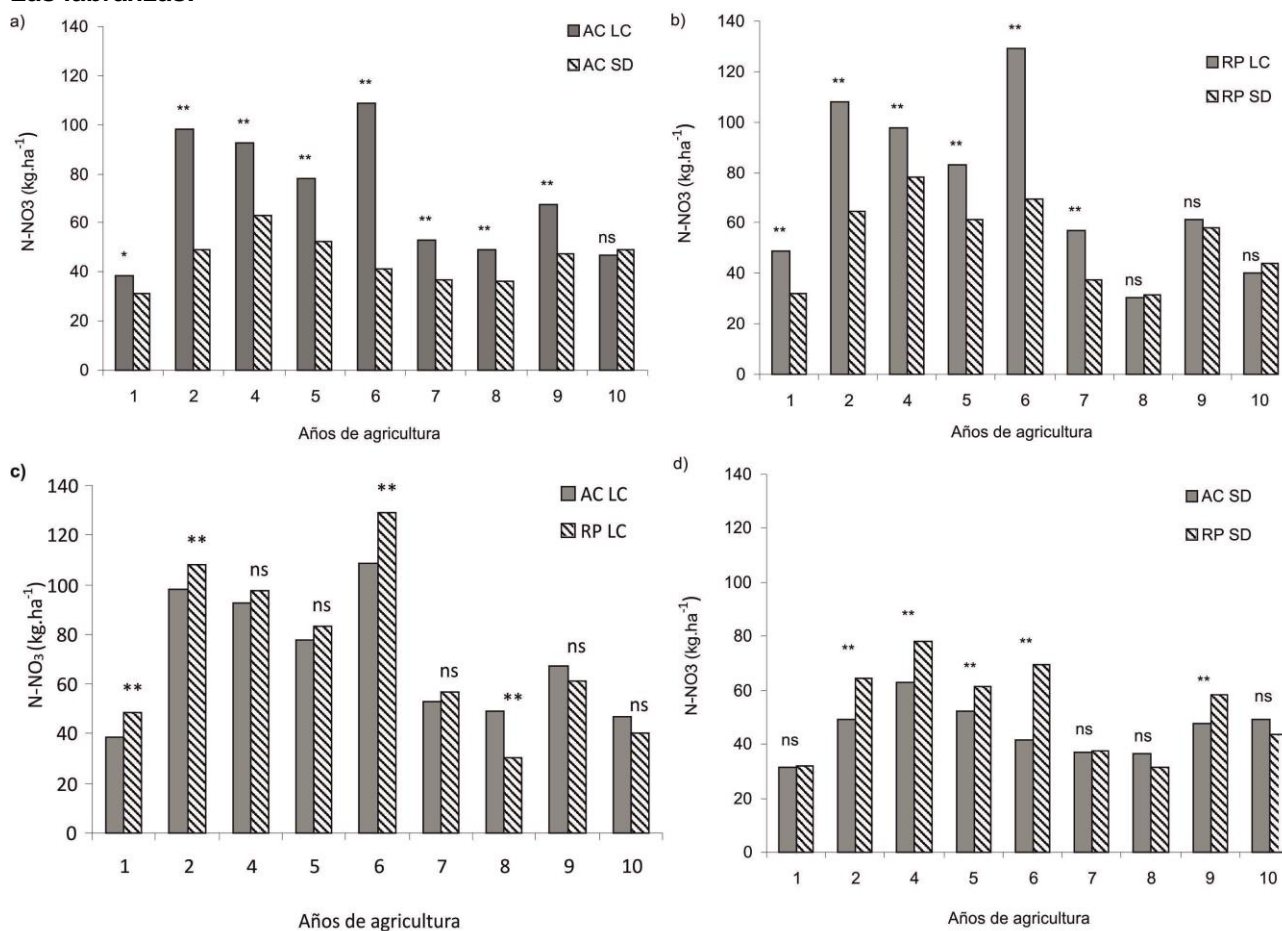


Figura 3-3: Evolución del contenido de N a la siembra de los cultivos (N (NO<sub>3</sub>)) para distintas historias previas (a-b) y labranzas (c-d) con el avance de la historia agrícola. (AC: agricultura continua; RP: rotación con pasturas; LC: labranza convencional; SD: siembra directa; ns: diferencias no significativas entre tratamientos; \* y \*\* diferencias significativas). Fuente: Ensayo de rotaciones con diferentes labranzas. CEI Barrow.

Estos resultados mostraron un comportamiento diferencial para cada ambiente evaluado, donde la capacidad relativa de suministro de N varió en función del manejo a que fue sometido, poniendo en evidencia el efecto diferencial de los sistemas de labranza sobre la capacidad del suelo para entregar N a los cultivos. El laboreo permitió que el suelo liberara una mayor proporción de N a partir de fracciones de la MO que quedaron expuestas por la remoción.

Ciclos agrícolas prolongados produjeron menores disponibilidades, debido probablemente, a una disminución del contenido de MO y consecuentemente del N, tal como lo reportaron Studdert y Echeverría (2006) para suelos de Balcarce.

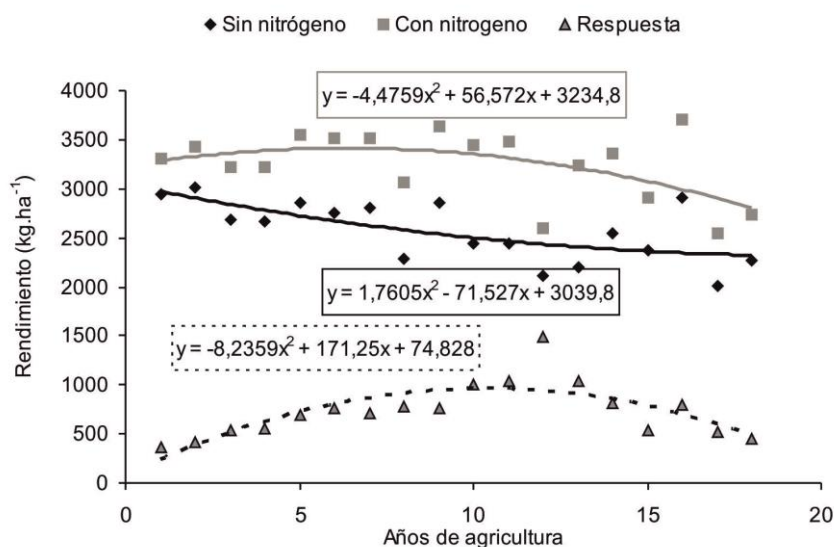
El empleo de SD hizo más evidente el cambio en la capacidad del suelo para proveer N a los cultivos a través de los años de agricultura, indicando la necesidad de mayores dosis de fertilizante para lograr los rendimientos máximos, con los consiguientes riesgos ambientales que ello implica.

Por otro lado, es conocido que el cultivo antecesor actúa sobre el proceso de mineralización-inmovilización de N tanto por el tipo de residuo que deja, como por el período de barbecho que permite realizar. Se observó que en los años 7 (trigo) y 8 (maíz) el suministro de N tendió a igualarse entre tratamientos, quizás por el volumen y calidad de los residuos de estas gramíneas. Lázaro (1996) y Sánchez et al. (1998), en trabajos realizados en el sudeste de Buenos Aires, demostraron el efecto que tienen los rastrojos de diferentes cultivos sobre los contenidos de MO y la capacidad de suministrar N a los cultivos siguientes en la secuencia agrícola.

Comúnmente se piensa que el ciclo del cultivo comienza con la siembra y a partir de ese momento, debemos estar atentos a todos los procesos que están involucrados en su desarrollo y crecimiento para tomar las decisiones necesarias. Sin embargo, es importante conocer ciertos factores previos a su implantación que pueden afectar de distinta manera. Para poder organizar la secuencia de los cultivos, es necesario conocer la historia agrícola previa del lote o los efectos que un cultivo antecesor tiene sobre el siguiente en la rotación.

### Historia agrícola del lote:

Es un parámetro que está en plena vigencia puesto que a nivel regional se observa un aumento de la agriculturización, registrado fundamentalmente a través de la prolongación de los ciclos agrícolas sobre un mismo lote. Para evaluar ese impacto, los ensayos de larga duración de la CEI Barrow resultan una fuente de información experimental que permite comparar distintos ambientes y manejos en los sistemas productivos vigentes en la región. Para el caso específico del trigo, se observó con estos ensayos, que los rendimientos sufrieron una caída a medida que el cultivo fue sembrado en un suelo con historia agrícola más prolongada (Figura 3-4). Esta merma en los rindes se hizo más pronunciada cuando se emplearon secuencias de cultivos más extractivas de nutrientes.



Fuente: Ensayos de rotaciones con labranzas CEI Barrow

Figura 3-4. Variación de los rendimientos de trigo sin y con el agregado de nitrógeno, y respuesta al agregado de urea ( $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), en función de los años bajo agricultura con labranza convencional.

Cuando la actividad agrícola se prolongó en el tiempo, los rendimientos de los cultivos comenzaron a disminuir. Entre las primeras causas que se detectaron apareció la pérdida de fertilidad química de los suelos, en especial, la deficiencia de N, confirmando la mayor dependencia de fertilizantes de los esquemas agrícolas (Forján; Manso, 2008).

Esto obligó a emplear un mayor uso de fertilizantes, fundamentalmente nitrogenados, además de los fosforados que habitualmente se aplicaron, buscando atenuar la pérdida de fertilidad de los suelos. De la Figura 3-4 surge que cuando la historia agrícola se extendió más allá de los 9 años trabajando con labranzas, resultaría necesario aumentar las dosis de fertilizante nitrogenado, ya que la respuesta a la fertilización comenzó a declinar.

En síntesis, un suelo con prolongada historia agrícola demandó mayores niveles de agregado de nutrientes para mantener los rendimientos estables. Esta mayor dependencia de insumos requiere una necesaria compatibilización del tipo de labranza, la elección de cultivos que integren la secuencia y una adecuada programación de la fertilización en la rotación. De este modo se favorecerá la sustentabilidad del sistema, conservando el recurso suelo y reduciendo la variabilidad de los rendimientos.

## Cultivo antecesor

El efecto que tiene un cultivo sobre el siguiente es un factor de suma importancia cuando se evalúa el sistema de producción en su conjunto. El cultivo antecesor puede modificar, en el perfil del suelo, la disponibilidad de nutrientes (especialmente de N) y de agua para el cultivo siguiente en la rotación.

Los rastrojos de los cultivos antecesores también tienen una fuerte influencia. Como varían en cantidad y calidad, su presencia influye en la planificación de la fertilización nitrogenada del cultivo siguiente, no sólo por el aporte, sino también por la inmovilización de N que puedan realizar cultivos que dejan rastrojos con altas relaciones carbono/nitrógeno (C/N), como por ejemplo maíz, sorgo o los cereales de invierno. En este caso, los microorganismos del suelo, que utilizan N para formar su proteína, compiten con el cultivo inmovilizando gran parte que no estará disponible. En cambio, si los rastrojos tienen una baja relación C/N como los de soja o girasol, la inmovilización del N mineral del suelo es mucho menor.

Sin embargo, como se verá en el Capítulo 5, las secuencias con mayor presencia de soja produjeron mayores caídas de la MO del suelo; este proceso también restringe la capacidad para mineralizar N (Studdert et al., 1997), por lo que el efecto favorable de corto plazo de los residuos de oleaginosas sobre la dinámica del N para el cultivo siguiente, enmascara las diferentes situaciones que se originan en el largo plazo por la pérdida de fertilidad del suelo (Studdert; Echeverría, 2006).

La rápida descomposición de los residuos de cultivos depende también de la proporción de hidratos de carbono presente en los mismos. La celulosa es el componente de más fácil degradación por los microorganismos, a diferencia de los residuos con mayor proporción de lignina que demoran más tiempo.

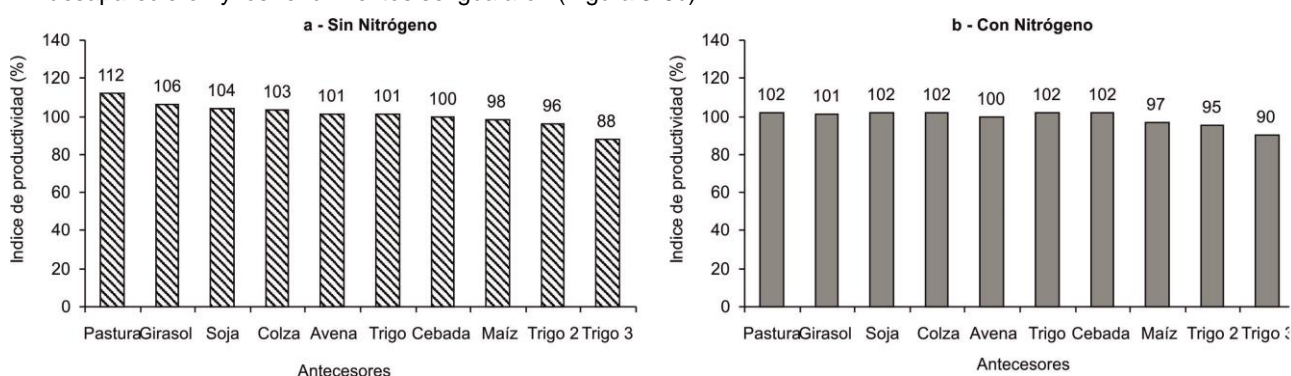
*Duración del barbecho:* actúa fundamentalmente sobre la cantidad de agua que se puede almacenar hasta el momento de la siembra. Varía con el cultivo antecesor e influye también sobre la dinámica de descomposición de los residuos y la disponibilidad de N. Cultivos antecesores de cosecha gruesa o verano presentan barbechos más cortos previo a la siembra del trigo, período que coincide con bajas temperaturas y menor evaporación. En el caso del trigo u otros cereales de invierno como antecesores, el período de barbecho es más prolongado, favoreciendo la acumulación de agua, aunque las temperaturas del verano pueden aumentar la pérdida por evaporación. Para esta región, por lo general, durante el otoño se registra una buena recarga del perfil. Solamente se encuentran diferencias, en el agua disponible a la siembra de trigo, en aquellos años que las precipitaciones del otoño son inferiores a la normal (Tabla 3-1). En ese caso aquellos lotes que provienen de soja o maíz registran menor disponibilidad.

Tabla 3-1: Disponibilidad de N y agua (0-60 cm) a la siembra del trigo con distintos cultivos antecesores.

| Cultivo antecesor | Nitrógeno (kg.ha <sup>-1</sup><br>N-NO <sub>3</sub> ) | Agua total<br>(mm) |
|-------------------|---|--------------------|
| Girasol           | 57,8  | 171                |
| Maíz              | 37,6  | 165                |
| Soja              | 74,5  | 153                |
| Trigo             | 86,6  | 178                |

Fuente: Ensayos Rotaciones con LC-2005-CEI Barrow

- *Efecto sobre el rendimiento:* cuando el trigo no fue fertilizado con N, se observó un efecto del cultivo antecesor sobre el rendimiento. En base a esto y evaluando todas las situaciones originadas en los ensayos de larga duración, se pudo establecer que los antecesores que produjeron un mejor comportamiento en el trigo posterior fueron pastura, girasol, soja, colza, cereales de invierno (avena, trigo, cebada) y maíz, en ese orden (Figura 3-5a). Cuando todas estas situaciones fueron comparadas con el agregado de fertilizante nitrogenado, las diferencias entre antecesores desaparecieron y los rendimientos se igualaron (Figura 3-5b).

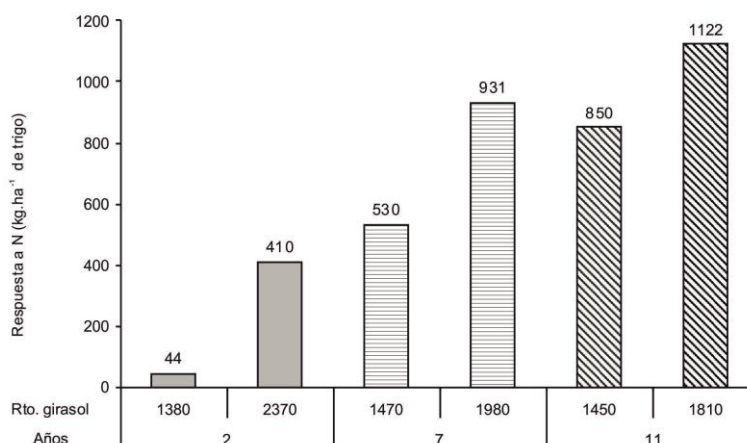


Fuente: Ensayos de rotaciones con labranzas CEI Barrow

Figura 3-5: Efecto del cultivo antecesor sobre el rendimiento de trigo sin nitrógeno (a) y con 100 kg.ha<sup>-1</sup> de Urea (b).

El rendimiento del cultivo antecesor también es un parámetro de gran importancia por su incidencia en el balance de nutrientes del sistema (Lázaro, 1996; Studdert; Echeverría, 2006). Altos rendimientos del antecesor requieren ajustar la fertilización dependiendo de la historia agrícola que presenta el lote.

Las respuestas a la fertilización nitrogenada del trigo que se siembra serán diferentes de acuerdo a la historia agrícola del lote y al rendimiento del cultivo antecesor. Figura 3-6.



Fuente: Ensayos de rotaciones con labranzas CEI Barrow

Figura 3-6: Incidencia del rendimiento del cultivo antecesor (girasol) sobre la respuesta de trigo a la aplicación de N, en las situaciones con 2, 7 y 11 años de historia agrícola (Rto: rendimiento de girasol).

Cuando una pastura fue roturada para hacer girasol y al año siguiente se sembró trigo, (2º año de historia agrícola) la respuesta que se obtuvo ante la fertilización nitrogenada en trigo fue superior en la situación donde el girasol obtuvo un mayor rendimiento. Esa superior producción de grano de la oleaginosa necesitó un mayor consumo de nutrientes para originarlo, por lo que los niveles en el suelo quedaron más reducidos.

Si el rendimiento del girasol fue bajo, la extracción resultó menor y los niveles de nutrientes en el suelo fueron poco afectados. Por lo tanto la respuesta a la aplicación de N al cultivo de trigo resultó muy baja y en esta situación, no resultó económico ni necesario aplicar fertilizantes.

A medida que el lote presentó una historia agrícola más prolongada (7 y 11 años en figura 3-6), las respuestas al agregado de N resultaron mayores cuanto más elevado fue el rendimiento del cultivo precedente.

Se puede resumir que la historia del lote y el cultivo antecesor tienen importancia a la hora de decidir la siembra de un cultivo en la secuencia, ya que inciden sobre el balance de los nutrientes que quedan disponibles para el cultivo siguiente. Un suelo descansado (pastura en su historia reciente) al ofrecer una mayor fertilidad, va a evitar o reducir la aplicación de fertilizantes, mientras que en el otro extremo, un suelo con prolongada historia agrícola exigirá un mayor ajuste en los nutrientes y las dosis a aplicar. El tener presente estas consideraciones, nos permitirá ajustar previamente ciertas variables del cultivo que colaboren en el objetivo de alcanzar una producción estable.

### La rotación con pasturas:

La presencia de pasturas durante el ciclo ganadero de la rotación, provee una serie de ventajas, en especial sobre el suelo, que no siempre son tenidas en cuenta. Además de la productividad animal que se mide sobre ellas, y que puede ser mejorada hasta niveles de eficiencia superiores a los actuales, la pastura produce un beneficio sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, preservando el recurso y permitiendo que se pueda seguir realizando una producción sostenible sobre estos suelos, atenuando los efectos de la agricultura convencional (Forjan, 2000). Las pasturas cumplen un rol muy importante en las rotaciones ya que, por sus características de producción de biomasa vegetal y de distribución de raíces en el suelo, garantizan la reposición de carbono orgánico e incrementan el pool de nutrientes para los cultivos. Esto, sumado a la acción física de sus raíces y al mantenimiento de una cobertura total del suelo, mejora significativamente las propiedades físicas y químicas alteradas durante el ciclo agrícola, reduciendo los procesos de erosión y recuperando la calidad del suelo (Studdert et al., 1997).

Cultivos como trigo (Figura 3-5), maíz, girasol, y soja presentaron los mejores rendimientos cuando fueron sembrados en lotes provenientes de pastura, comparativamente con otros antecesores, reafirmando la positiva incidencia que una pastura de base alfalfa tiene sobre la dinámica del N para los cultivos que siguen en la secuencia. La capacidad de esta especie leguminosa de fijar N atmosférico a través de las bacterias que nodulan en sus raíces (fijación biológica de nitrógeno, FBN), permite adicionar en forma biológica este nutriente al sistema.

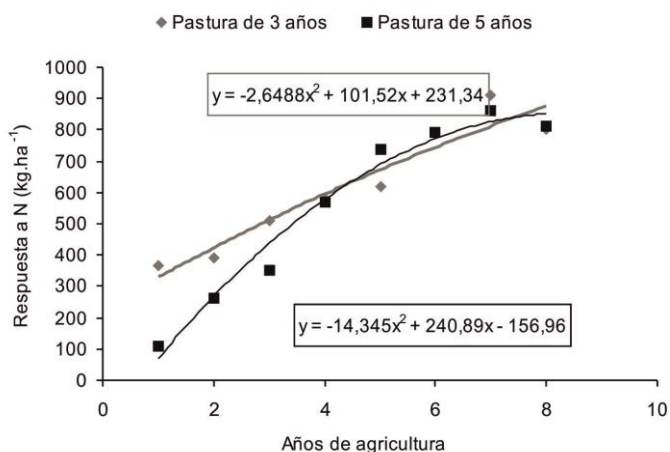
La concentración de N del suelo aumentó proporcionalmente con la duración de la leguminosa forrajera hasta el cuarto año, teniendo en cuenta que, por lo general, a partir de ese año se registran importantes pérdidas en el stand de plantas de alfalfa en las pasturas de la región (Forján, 2000).

El aporte de N por FBN en Barrow fue calculado en un 54% respecto del contenido total de N acumulado en biomasa aérea de alfalfa (Racca; González, 2007). La fijación de N, que es un proceso muy dependiente de la disponibilidad hídrica, presentó para los suelos característicos de la región, valores que oscilaron entre 102 kg N.ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para años con limitaciones hídricas y una producción de forraje de 5800 kg MS.ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> hasta valores superiores a 200 kg N.ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> cuando la producción de forraje superó los 10000 kg MS.ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Duhalde, J. comunicación personal).

La disponibilidad del N fijado por la alfalfa para los cultivos que iniciaron el ciclo agrícola, se manifestó significativamente en los primeros 6 años de la secuencia (Figura 3-3), aunque dependió del tipo de labranza empleado.



Para analizar la magnitud de ese beneficio, se evaluaron las respuestas a la fertilización nitrogenada de trigos que fueron implantados en diferentes momentos del ciclo agrícola luego de pasturas de distinta longitud (Figura 3-7).



Ensayos de rotaciones con labranzas CEI Barrow

Figura 3-7: Respuesta a fertilización nitrogenada en trigo luego de un período de 3 y 5 años de pastura. Fuente:

Si bien ese efecto restaurador de las pasturas pareció relativamente corto en el tiempo, la magnitud de la respuesta a la fertilización estuvo íntimamente ligada al tipo de cultivo incluido en la rotación y a los rendimientos que ellos obtuvieron.

Además de la compensación de rendimiento registrada por la presencia de pasturas en la rotación, también se observaron, en los primeros años del ciclo agrícola, incrementos en los niveles de proteína en grano, factor que ha cobrado importancia desde su inclusión en el estándar de comercialización de trigo pan (Tabla 3-2).

Tabla 3-2: Porcentaje de proteína en grano de trigo, según años de agricultura, con y sin la aplicación de fertilizante nitrogenado. Fuente: Ensayos de Rotaciones con labranzas CEI Barrow.

| Ubicación del trigo en la rotación agrícola luego de pastura | % proteína en grano |       |
|--|---------------------|-------|
|  | Sin N               | Con N |
| 1  | 13,6                | 14,1  |
| 2  | 13,1                | 14,0  |
| 3  | 12,7                | 13,6  |
| 4  | 11,9                | 12,6  |
| 5  | 9,4                 | 10,4  |
| 6  | 8,4                 | 9,3   |

Estos resultados permitieron demostrar la importancia de la presencia de pasturas en la rotación a partir de un aporte eficiente y ambientalmente seguro de un elemento como el N.

### Cultivos de cobertura

El reducido aporte de rastrojos de los cultivos oleaginosos y su elevada tasa de descomposición (baja relación C/N), origina balances negativos de MO, así como también, escasa cobertura de los suelos en aquellas rotaciones en las cuales son los cultivos predominantes. Una alternativa para incrementar el aporte de residuos en secuencias con alta participación de oleaginosas es la incorporación de cultivos de cobertura (CC). Éstos se implantan entre dos cultivos de cosecha, y no son pastoreados ni cosechados, por lo cual aportan abundante biomasa y al permanecer sobre la superficie, protegen al suelo de procesos erosivos.

La presencia de un CC mejora la infiltración del agua de lluvia debido al incremento de macro y mesoporos originados por sus raíces; también disminuye la amplitud térmica en superficie, mejorando la eficiencia del uso del agua y aumentando la disponibilidad para el cultivo agrícola siguiente (Ruffo; Parsons, 2004; Casas, 2007), siendo necesario ajustar el momento de secado. Otras ventajas de su utilización se relacionan con la posibilidad de disminuir la pérdida de nutrientes móviles, tales como nitratos y sulfatos, que ocurre principalmente en los otoños lluviosos; cuando se emplean especies leguminosas, la FBN permite reducir el empleo de fertilizantes, y la presencia de un sistema radical vivo que mantiene la actividad biológica del suelo mejora aspectos relacionados a la fertilidad edáfica.

En el tercer ciclo del ensayo de Rotaciones en SD, se están incluyendo CC invernales, con el objetivo de incrementar los aportes de Carbono, mejorar la infiltración y reducir las pérdidas por evaporación a través de la generación de cobertura. Las especies utilizadas son avena consociada con vicia, y se comparan los efectos de la incorporación del CC con una situación tradicional de la zona, que es el pastoreo del verdeo de invierno previo a la siembra del cultivo de cosecha gruesa.

Resultados de esta primera experiencia mostraron que la presencia del CC produjo un mayor consumo de N y una mayor eficiencia en la utilización del agua con relación al tratamiento pastoreado, aspectos que se vieron reflejados en la producción de biomasa y el rendimiento del cultivo siguiente en la secuencia (girasol) (Figuras 3.8 a y b). La

continuación de esta práctica en el tiempo permitirá evaluar la evolución de la presencia del CC y sus efectos sobre el sistema de producción.

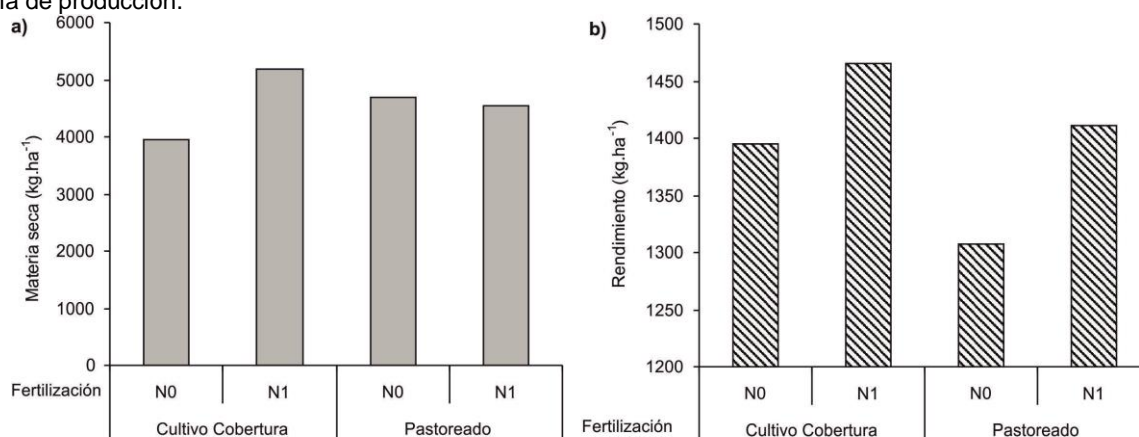


Figura 3-8: Producción de materia seca (a) y rendimiento de girasol (b), fertilizado con nitrógeno (N1) y sin fertilizar (N0), según manejo del cultivo de avena-vicia previo. Fuente: Ensayos de rotaciones en SD CEI Barrow.

### El doble cultivo. Siembras de “segunda”

En los últimos años se ha generalizado en la región la siembra de cultivos de verano inmediatamente de cosechado el cultivo de siembra otoño-invernal. La práctica se ha visto favorecida por la difusión de la siembra directa, y la buena rentabilidad de las oleaginosas estivales.

Sin embargo, la decisión de efectuar un cultivo oleaginoso de verano (soja o girasol) llamado “de segunda” sobre rastrojos de cereales de invierno (avena, cebada, trigo) o colza, implica la aceptación de implantarlo en un período que no es el óptimo. Las condiciones ambientales a las que es expuesto un cultivo sembrado tarde, varían con relación a la siembra en fechas tempranas por lo que estos cambios inciden sobre el crecimiento, desarrollo y posterior rendimiento (Andrade, 2000).

Diferencias en la incidencia de radiación, temperatura y duración del día (fotoperíodo) afectan, de distinta manera, las etapas fenológicas de cada uno de los cultivos, provocando reducción en los rendimientos, aún en ambientes sin limitaciones de humedad. Experiencias realizadas en la CEI Barrow determinaron una disminución de 28 kg.ha<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup> cuando la siembra de soja se realizó después del 25 de noviembre (Iriarte, 2004). En la región de Balcarce se ha encontrado una reducción del rendimiento de hasta 60 kg.ha<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup> con siembras posteriores al 25 de diciembre (Calviño et al., 2003; Caviglia, 2005). Esta afectación se fundamenta en un menor número de granos fijados por unidad de superficie y menor peso individual del grano. La tecnología disponible para atemperar esta disminución de rendimiento, se basa en aspectos de manejo de los cultivos tardíos como la densidad, el espaciamiento y la elección de cultivares.

A los condicionantes ecofisiológicos mencionados para los cultivos de “segunda”, debe agregarse la disponibilidad de agua en el momento de la siembra y el balance de agua durante todo el ciclo del cultivo para que las oleaginosas puedan expresar su potencial productivo. En nuestra región, es muy común la escasez hídrica en el momento de la implantación, parámetro modificado generalmente por el tipo de cultivo antecesor de cosecha fina y su consumo en la etapa final del ciclo (Tabla 3-3).

Tabla 3-3: Humedad edáfica (%) previo a la siembra de cultivos estivales de “segunda” (Fuente: Ensayo Rotaciones en Siembra Directa 2006/07 .CEI Barrow)

| Profundidad | Antecesores |        |       |
|-------------|-------------|--------|-------|
|             | Colza       | Cebada | Trigo |
| 0 - 10 cm   | 11,6        | 12,8   | 12,3  |
| 10 - 20 cm  | 15,3        | 15,4   | 13,9  |
| 20 - 40 cm  | 11,1        | 13,4   | 12,7  |
| + de 40 cm  | 12,4        | 16,2   | 14,5  |

Esta disponibilidad inicial condiciona generalmente el éxito de la implantación del cultivo de “segunda”, agravado en muchos sectores de la región por la limitante en profundidad de los suelos, que disminuye la capacidad de almacenaje de agua.

No obstante, debe tenerse en cuenta, que cuando se intensifica la rotación, se incrementa la demanda anual de agua y nutrientes. Si bien la SD disminuye la evaporación, mejora la captación y almacenamiento de agua, y por lo tanto, permite disponer de mayor cantidad de milímetros de agua en el perfil, éstos deben ser estratégicamente utilizados para asegurar el éxito del doble cultivo.

En general, las precipitaciones durante el ciclo de estos cultivos, presentan una buena distribución en función de su demanda, resultando favorecidos, además, porque el período crítico de floración se desplaza hacia momentos de menor evapotranspiración.

La nutrición del doble cultivo debe ser evaluada teniendo en cuenta las necesidades de ambos cultivos. Distintas experiencias realizadas en la región por Zamora et al. (2002), indican que cuando se intensifica la agricultura sobre

estos suelos, las fertilizaciones balanceadas se presentan como más factibles desde el punto de vista de la sustentabilidad del sistema de producción, teniendo en cuenta la residualidad de nutrientes en el suelo.

En general, se pudo observar un mejor comportamiento de soja con respecto a girasol al sembrarlos simultáneamente sobre rastrojos de invierno. A su vez, la implantación sobre aquellos cultivos (avena, cebada, colza) que desocupan el lote anticipadamente con relación al trigo, posibilitó una menor pérdida de rendimiento potencial. Esto pudo verse en la mayoría de los años analizados, donde el rendimiento de soja de “segunda” sobre antecesor trigo alcanzó sólo el 46% del promedio de los antecesores cebada y colza, aún en aquellos años de muy baja producción de la soja, e independientemente de los rindes alcanzados por el cultivo de invierno previo (Tabla 3-4).

Tabla 3-4: Rendimientos de soja de segunda con diferentes antecesores. Campañas 2006/07 y 2007/08

| Campaña | Cultivo invierno | Rto (kg.ha <sup>-1</sup> ) | Cultivo verano | Rto (kg.ha <sup>-1</sup> ) |
|---------|------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|
| 2006/07 | Colza            | 740                        | Soja           | 2510                       |
|         | Cebada           | 3745                       |                | 2740                       |
|         | Trigo pan        | 2445                       |                | 1210                       |
| 2007/08 | Colza            | 1215                       | Soja           | 240                        |
|         | Cebada           | 2380                       |                | 230                        |
|         | Trigo pan        | 1650                       |                | 110                        |

Fuente: Ensayo Rotaciones en SD. CEI Barrow

Los márgenes económicos realizados mostraron una gran amplitud entre los valores registrados en las campañas evaluadas. Si bien los resultados presentados reflejan situaciones extremas, los mismos permiten visualizar la disparidad que se puede presentar en el resultado final (Figura 3-9).

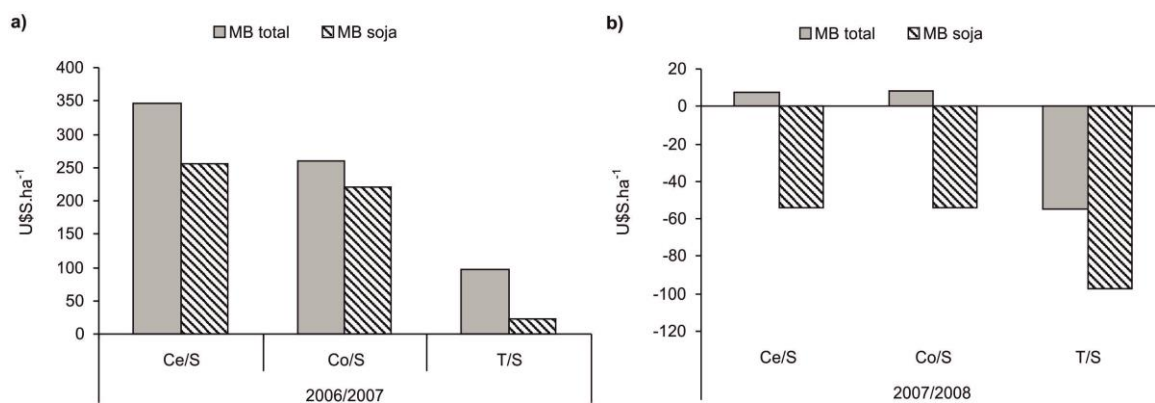


Figura 3-9: Margen bruto del doble cultivo colza/soja (Co/S), cebada/soja (Ce/S) y trigo/soja (T/S), para las campañas 2006/07 y 2007/08. Fuente: Ensayo Rotaciones en SD. CEI Barrow

Al considerar todas las combinaciones para los rendimientos y precios tomados en cuenta al realizar el análisis, el mayor Margen Bruto correspondió, en gran parte de los años, al doble cultivo cebada-soja.

Se puede concluir que en los sistemas de producción de la región centro-sur de Buenos Aires la búsqueda de mayor productividad con el doble cultivo anual se presenta como una alternativa interesante por la eficiencia en el uso de los recursos, y su aporte a la diversificación e intensificación del sistema de producción. Sin embargo, las experiencias no han sido, en general, lo suficientemente exitosas como para recomendar en forma segura una siembra de este tipo.

Si bien el doble cultivo requiere un mayor aporte de insumos para lograr una segunda cosecha que muchas veces resulta incierta en la región, desde el punto de vista del mantenimiento productivo del sistema de producción, resulta una práctica muy beneficiosa ya que a lo largo del año se suma el aporte de rastrojos de dos cultivos, resultando en un balance de carbono positivo (ver Capítulo 5).

## Bibliografía

- ANDRADE, F, y V. SADRAS. Ed. 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Unidad Integrada IN TA Balcarce-UNMdP.
- BECK, D. 2001. Rotación de cultivos: El arte perdido. En: Publicación Rotación de cultivos en siembra directa. Aapresid.(Pp.11-15).
- BERGH, R; F. GARCIA; J. FERRARI; R. RIZZALLI,1996. Actas XV Congr. Arg. Ciencia del Suelo.
- BIANCHINI, A., S. LORENZATTI. 2001. La rotación de cultivos. Una herramienta poco utilizada. En: Publicación Rotación de cultivos en siembra directa. Aapresid (Pp.7-10).
- CALVIÑO, P.; V. SADRAS y F. ANDRADE, 2003. Development, growth and yield of late-sown soybean in the southern Pampas. European Journal Agronomy 19: 265-275.
- CASAS. R. 2007. Cultivos de cobertura: Una alternativa sustentable. Supl.Campo febrero La Nación.
- CAVIGLIA, O. P. 2005. Intensificación de la agricultura en el sudeste bonaerense por la incorporación del doble cultivo trigo-soja. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Mar del Plata. Unidad Integrada Balcarce.

- CAVIGLIA, O. P., L. NOVELLI. 2011. Intensificación agrícola: un enfoque a nivel de sistema para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y nutrientes, y la sustentabilidad ambiental. Actas Simposio Fertilidad 2011. IPNI-Fertilizar. (Pp. 35-42).
- DOMINGUEZ, G. F.; STUDDERT, G. A.; ECHEVERRIA, H.E. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. En: Echeverría, H.E.; García F.O. (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp 207-229.
- FORJAN, H. J. 2000. Rotaciones en sistemas mixtos. La pastura perenne base de la agricultura sustentable en la región. Material didáctico N°1. CEI Barrow (11Pp.)
- FORJAN, H. J.; A. QUATTROCHIO; M. ZAMORA; R. BERGH; A. BAEZ; M. SEGHEZZO y E. MOLFESE. 2001. Actas V Cong. Nac.Trigo. (3-88).
- FORJAN, H. J.; L. MANSO, 2006. Un enfoque integrador: La visión actual del sistema de producción. AgroBarrow N°36
- FORJAN, H. J.; L. MANSO, 2006. Una tecnología de bajo costo: la rotación de cultivos. AgroBarrow N°34.
- FORJAN, H. J.; L. MANSO. 2008. Factores a considerar previo a la siembra de trigo. AgroBarrow N°40
- FRANCIS, C. A., M. D. CLEGG. 1990. Crop rotations in sustainable production systems. P. 107-122. In: C.A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R.H. Miller y G. House (eds.) Sustainable Agricultural Systems, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, EUA.
- GARCIA, F. 2009. Eficiencia de uso de nutrientes y mejores prácticas de manejo para la nutrición de cultivos de grano. En: García F.O. y I. A. Ciampitti (Eds). Simposio "Fertilidad 2009"IPNI Cono Sur-Fertilizar (Pp-9-18).
- IRIARTE, L. y Z. LOPEZ. , 2004. Abstracts VII World Soybean Research Conference. Brasil.
- KRUGER, H.,1996.Inf.Téc.58. INTA Bordenave
- LAZARO, L. 1996. Determinación del rendimiento de trigo ante cambios en la disponibilidad de nitrógeno generada por distintos cultivos antecesores. Tesis de Ms. Sc. Programa de post-grado en Prod. Vegetal. Fac. Cs. Agr. UNMdP.
- RACCA, R.; N. GONZALEZ, 2007: Nutrición nitrogenada de la alfalfa e impacto de la fijación biológica del nitrógeno. En: El cultivo de la alfalfa en Argentina. Pp.67-79.
- RUFFO, M.; A. PARSONS. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. Boletín Inpofos N°21 (Pp.13-15).
- SANCHEZ, S.R.; STUDDERT, G.A.; ECHEVERRIA, H.E. 1998. Dinámica de la mineralización del nitrógeno de residuos en descomposición en un argiudol típico. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz (p. 181-182).
- STUDDERT, G. A.; H.E. ECHEVERRIA y E.M. CASANOVAS. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudol. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:1466-1472.
- STUDDERT, G. A. 2006. Taller Sustentabilidad Agrícola: El rol de los ensayos de larga duración: La experiencia de la Unidad Integrada Balcarce. En CD. 30 Aniversario de los ensayos de rotaciones de Balcarce.
- STUDDERT, G. A., H. E. ECHEVERRIA. 2006. Relación entre el cultivo antecesor y la disponibilidad de nitrógeno para el trigo en la rotación. Ciencia del Suelo 24:89-96.
- URBANO, P.; R. MORO. 1992. Sistemas agrícolas con rotaciones y alternativas de cultivos. Ed. Mundi Prensa (134 Pp.).
- ZAMORA, M; A. BAEZ y L. IRIARTE, 2002. Colza/Soja de segunda como componente de una rotación bajo siembra directa. Página web CEI Barrow.

## Capítulo 4-Los nutrientes

*La exportación de nutrientes por los cultivos. Factores que inciden en la exportación. Secuencia, rendimientos. Niveles de reposición por fertilización. La importancia de conocer el balance.*

Ing. Agr. Horacio Forján, Ing. Agr. (MSc) Lucrecia Manso

Para alcanzar altos rendimientos, los cultivos necesitan que una gran cantidad de nutrientes estén presentes durante su ciclo. Todos los elementos esenciales se encuentran en el suelo, y una parte importante se libera a través de la mineralización de la materia orgánica (MO) (Berardo, 2004).

Cubrir las necesidades nutricionales de cada cultivo es la base para alcanzar los rendimientos planteados como objetivos y para ello, debe considerarse el total de nutrientes necesarios para la producción de biomasa (raíz, tallos, hojas, grano) (García, 2003).

La extracción de nutrientes producida por un cultivo, en cambio, es aquella que corresponde a los elementos contenidos en los granos y que salen del sistema de producción con la cosecha. Los niveles de extracción de nutrientes son variables de acuerdo al cultivo evaluado y al rendimiento alcanzado por éste (García, 2000). A su vez, están influenciados por la historia agrícola, el rendimiento del antecesor y las condiciones climáticas que afecten al cultivo modificando su rendimiento (Forján, 2004).

En el período analizado en esta publicación, y en coincidencia con el incremento de la agricultura en la región, se comprobó la disminución de los niveles de fertilidad química de los suelos, toda vez que los rendimientos comenzaron a declinar a medida que se prolongaron los ciclos con cultivos de cosecha. A la conocida respuesta a la fertilización fosfatada producto de los bajos niveles originarios de estos suelos, se sumó la respuesta de los cultivos, especialmente las gramíneas, a la aplicación de fertilización nitrogenada. En general, en toda la región pampeana, se mencionó a la pérdida de nitrógeno (N) edáfico como una de las causas del deterioro del suelo y se señaló a la remoción de los cultivos como principal causa (Gudelj et al., 2006). El diagnóstico de fertilidad comenzó a ser empleado como una herramienta de suma importancia, considerando la demanda nutricional de los cultivos y la oferta del suelo.

El aumento del rendimiento potencial en todos los cultivos, por efecto de grandes progresos genéticos en ese aspecto, produjo aumentos de requerimientos (García; González San Juan, 2010) y déficit de nutrientes en el sistema (Ciampitti; García, 2011), representando un factor cada vez más limitante para la productividad, por lo que la fertilización pasó a ser una práctica necesaria en la región. Posteriormente y considerando todos estos factores, se comenzó a analizar el balance entre fertilización y extracción, y a manejar el concepto de *reposición de nutrientes* para mantener o mejorar la fertilidad natural (Gudelj et al., 2006).

### Extracción de nutrientes

De la información obtenida a partir de los ensayos de rotaciones de la Chacra Experimental Integrada Barrow, se determinó la extracción de nutrientes de los cultivos empleados en distintos sistemas de producción, la cual varió de acuerdo al rendimiento obtenido, nivel de proteína de los granos, historia previa del lote y condiciones climáticas, como se muestra en la tabla 4-1 para el caso del N. Los valores obtenidos mostraron poca variación en los niveles de extracción en cultivos como trigo y girasol, donde el porcentaje de proteína estuvo inversamente relacionado al rendimiento. En cambio, la exportación resultó elevada para maíz y soja con directa dependencia del rendimiento obtenido.

Tabla 4-1: Extracción de nitrógeno (Extrac.N) por los cultivos en suelos con distinta historia previa: agricultura permanente (Agr. perm.) y rotación con pasturas-sistema mixto (S. Mixto) para años con diferentes condiciones hídricas (Rto: rendimiento).Fuente: Ensayo rotaciones con labranzas Ciclo 1 CEI Barrow.

| Cultivo | Historia  | Proteína % | Año Normal          |                   | Año Seco            |                   |            | Año Húmedo          |                   |       |
|---------|-----------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------|---------------------|-------------------|-------|
|         |           |            | Rendimiento (kg/ha) | Extrac. N (kg/ha) | Rendimiento (kg/ha) | Extrac. N (kg/ha) | Proteína % | Rendimiento (kg/ha) | Extrac. N (kg/ha) |       |
| TRIGO   | Agr. perm | 10,9       | 2780                | 48,6              | 13,8                | 1920              | 41,8       | 9,7                 | 3530              | 64,8  |
|         | S. mixto  | 11,3       | 2880                | 63,6              | 14,1                | 2160              | 48,7       | 10,2                | 3680              | 60    |
| GIRASOL | Agr. perm | 12,3       | 2376                | 48,7              | 17,0                | 1605              | 40,9       | 12,8                | 2680              | 62,8  |
|         | S. mixto  | 14,6       | 2103                | 49,1              | 16,9                | 1280              | 34,8       | 16,0                | 2660              | 63,8  |
| MAÍZ    | Agr. perm | 8,1        | 4770                | 61,8              | 10,1                | 1680              | 27,1       | 7,9                 | 7820              | 93,8  |
|         | S. mixto  | 10,9       | 4890                | 86,2              | 11,4                | 1710              | 31,2       | 9,4                 | 7980              | 119,7 |
| SOJA    | Agr. perm | 31,8       | 1920                | 97,7              | 34,6                | 1240              | 68,6       | 31,4                | 2340              | 117,6 |
|         | S. mixto  | 36,3       | 1890                | 108,7             | 38,4                | 1170              | 71,9       | 34,0                | 2690              | 146,3 |

Cuando se analizó la extracción de los dos macronutrientes más importantes para la producción de granos, N y fósforo (P), durante 18 años en las secuencias agrícolas del Ensayo 1, los valores variaron con el cultivo realizado y el

rendimiento obtenido, de manera que la exportación para cada secuencia presentó valores muy diferentes, según los cultivos que fueron incluidos (Figura 4-1).

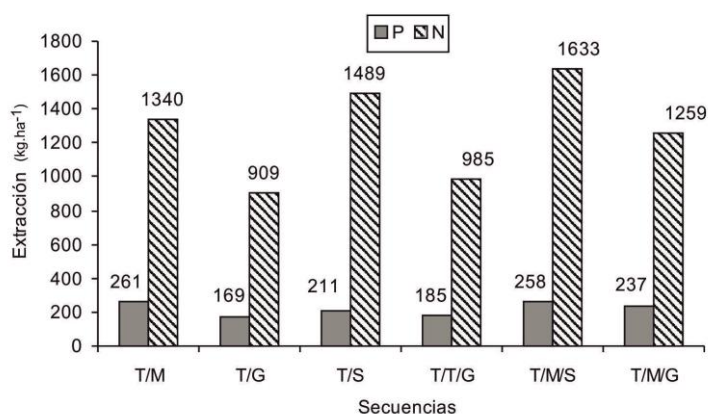
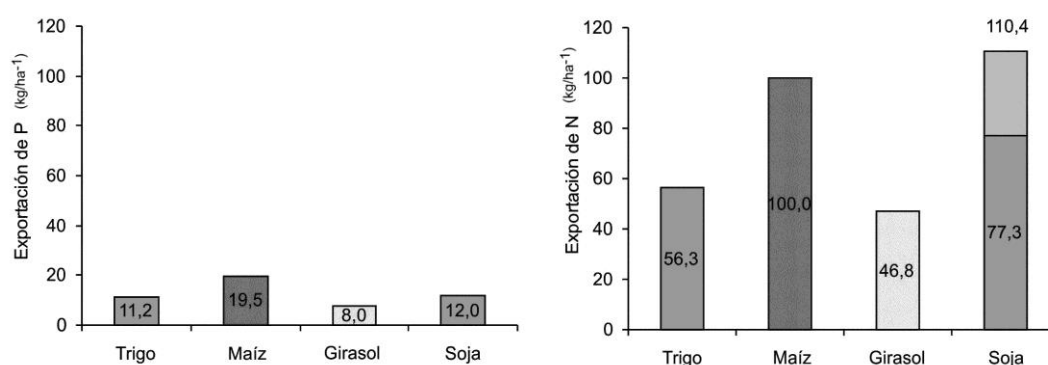


Figura 4-1: Exportación de fósforo (P) y nitrógeno (N) para cada secuencia en 18 años (DMS: P=25,97; N= 145,93). T: trigo – M: maíz – G: girasol – S: soja. Fuente: Ensayo rotaciones con labranzas CEI Barrow.

Se observaron marcadas diferencias entre secuencias producto de la presencia de los distintos cultivos. La composición de la secuencia y los rendimientos logrados incidieron directamente en la exportación de nutrientes. La concentración de la mayoría de los nutrientes en grano fue mayor en las oleaginosas que en las gramíneas y se incrementó asociada al contenido de proteína, siendo menor para maíz (Prot.: 9,7%), y obteniéndose progresivamente mayores valores para trigo (Prot.:11,5%), girasol (Prot.:18,4%) y soja (Prot.:39,5%)\*. Por tal razón, el grano de soja puede contener hasta el doble de concentración de muchos nutrientes con relación a los cereales (Berardo, 2004). Con los valores promedio se establecieron los niveles de exportación para cada cultivo (Figura 4-2).



\*Valores promedio determinados en laboratorio de calidad industrial de la CEI Barrow.

Figura 4-2: Exportación promedio anual de: a) fósforo (P) y b) nitrógeno (N) para cada cultivo. En soja se consideró la reposición por fijación biológica (40%). Fuente: Ensayo rotaciones con labranzas CEI Barrow.

### Aporte por fertilización

El aporte de nutrientes se realizó a través de niveles de fertilización considerados medio-altos con respecto a las dosis comúnmente empleadas en la región, tomando en cuenta el análisis de suelo previo y la expectativa de un rendimiento relativamente alto. Todos los cultivos fueron fertilizados con P a la siembra y sólo las gramíneas con N, aunque en el último ciclo también lo fue el girasol. Al momento de diagramarse este ensayo, otros nutrientes no resultaban deficientes y fueron provistos desde el suelo a partir de la mineralización de la MO.

En el período analizado el fosfato diamónico (DAP) aplicado a la siembra promedió 80 kg.ha<sup>-1</sup> para trigo y 83 kg.ha<sup>-1</sup> para maíz, efectuándose un posterior aporte de 122 y 130 kg.ha<sup>-1</sup> de urea, respectivamente. En el caso de las oleaginosas, promediando todas las situaciones, se aplicaron a la siembra 45 y 69 kg.ha<sup>-1</sup> de DAP para girasol y soja respectivamente. En el último ciclo, el girasol también fue fertilizado con N (74kg.ha<sup>-1</sup> de urea promedio).

### Balance de P y N

La dosis de fertilizante empleada cada año y para cada cultivo en relación a la exportación de nutrientes, permitió efectuar un balance con el propósito de establecer el nivel de reposición de P y N que se alcanzó en cada una de las secuencias.

Se observó que con las dosis empleadas, los niveles de P aplicados resultaron suficientes para reponer lo extraído por los cultivos en las distintas secuencias, durante el período evaluado. Para algunas secuencias, el excedente permitió elevar la concentración de este elemento en el suelo. Sin embargo, aparecieron notorias deficiencias de N, especialmente en aquellos tratamientos donde se incluyeron oleaginosas (principalmente soja) que no fueron fertilizadas con N, y cuando el maíz alcanzó rendimientos elevados, resultando escasas las dosis aplicadas (Tabla 4-2).

Tabla 4-2: Resultados del balance de fósforo y nitrógeno ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) para distintas secuencias bajo labranza convencional, en un período de 18 años (DMS:  $P= 2,79$ ;  $N= 17,66$ ). T:trigo; M:maíz; G:girasol; S:soja.

| Secuencia | Fósforo | Nitrógeno |
|-----------|---------|-----------|
| T/M       | 33,08   | -8,33     |
| T/G       | 59,39   | -84,95    |
| T/S       | 65,15   | -725,34   |
| T/T/G     | 65,08   | -12,60    |
| T/M/S     | 18,63   | -684,11   |
| T/M/G     | 12,67   | -264,77   |

Fuente: Ensayo rotaciones con labranzas CEI Barrow

Aquellas secuencias con mayor presencia de soja mostraron balances negativos de N más marcados, lo cual se explicó por el elevado porcentaje de proteína que presenta su grano y el bajo aporte de fertilizante nitrogenado recibido. Este mayor desbalance de N se dio aun considerando una fijación biológica de nitrógeno (FBN) estimada en 40% de las necesidades del cultivo para la región (González, 2002), habiendo obtenido el nutriente restante del propio suelo (Figura 4-3).

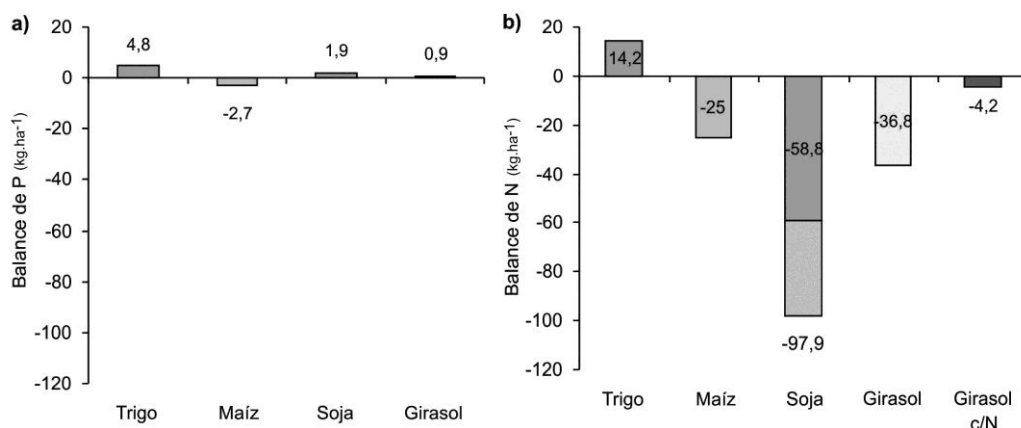


Figura 4-3: Balance de: a) fósforo (P) y b) nitrógeno (N), promedio para cada cultivo por año. En soja se consideró la reposición por fijación biológica (40%).(Girasol c/N: girasol fertilizado con nitrógeno).Fuente: Ensayo rotaciones con labranzas CEI Barrow

Analizando los valores presentados, se pudo estimar que con las dosis de fertilizante utilizadas se pudieron cubrir las necesidades de P de todos los cultivos. Para N, los niveles de fertilización aplicados resultaron suficientes para el cultivo de trigo, mientras que en maíz, el déficit presentado haría necesario un ajuste en la dosis ( $+50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  urea) para reponer lo que el cultivo extrajo en promedio. En girasol, la fertilización realizada en el último ciclo, estaría mostrando un valor de reposición cercano al necesario para cubrir los requerimientos de N. El cultivo de soja, en cambio, está asociado a un resultado deficitario en el balance de N del suelo como consecuencia de su incapacidad para fijar biológicamente todo el N que exporta con los granos y su falta de respuesta a la fertilización nitrogenada (Ferrari, 2010).

Para los rendimientos obtenidos en el estudio, el déficit de N en soja equivalió a una pérdida de  $60 \text{ US}\$.\text{ha}^{-1}$  (considerando un costo de  $\text{US}\$ 1000.\text{tn N}^{-1}$ ). Estos valores coinciden con estimaciones sobre el consumo de nutrientes realizadas en suelos de la región pampeana, confirmando balances negativos para soja (Ventimiglia et al., 2000; Ferraris,2003; Cordone; Martínez,2004).

En la medida que el cultivo de soja tuvo una mayor presencia en la secuencia, se acentuó el déficit de N(Figura 4-4), deteriorando la fertilidad del suelo y acelerando la mineralización y pérdida de MO.

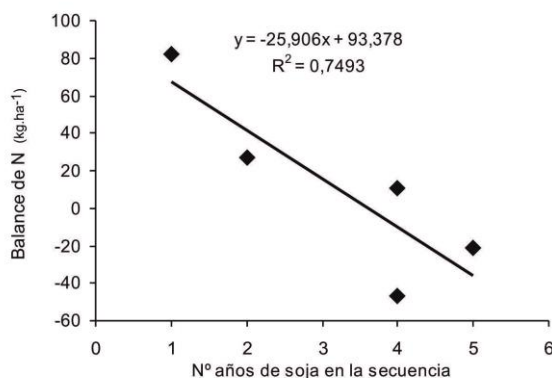


Figura 4-4: Presencia de soja en la secuencia y balance de N. Fuente: Ensayos rotaciones en siembra directa CEI Barrow

Considerando el avance del cultivo de soja en las secuencias de la región en los últimos años, resulta necesario insistir sobre la adopción de diversas alternativas que permitan equilibrar el balance de este nutriente como: incrementar la proporción de gramíneas para grano con posibilidades de obtener respuesta a la aplicación de N; aumentar la proporción del doble cultivo (gramínea/soja) que permite reponer N al cereal y realizar soja posteriormente; o incluir cultivos de cobertura invernal (gramínea/leguminosa) aprovechando la posibilidad de incorporar N al sistema a través de la FBN de la leguminosa.

Cuando las secuencias agrícolas se realizaron bajo siembra directa (SD), la dependencia de la fertilización nitrogenada fue más importante ya que la mineralización de MO desde el suelo disminuyó por efecto de la eliminación de la labranza y por consiguiente, la oferta de N (ver Capítulo 3).

Esa mayor demanda de N para conseguir iguales rendimientos se produjo especialmente durante los primeros años de establecido el sistema. Sin embargo, los estudios actuales estarían mostrando que el mantenimiento de la SD en el tiempo permitiría incrementar el contenido de MO en los horizontes superficiales y su mineralización, por lo cual la posterior oferta de N orgánico podría ser igual o mayor que la de labranza convencional (Studdert, 2006).

Considerar el balance de nutrientes conociendo los requerimientos nutricionales de los cultivos, resulta una herramienta de gran utilidad para diagramar eficientes estrategias de fertilización. Los resultados obtenidos, al analizar las secuencias propuestas para la región, estarían alertando sobre la necesidad de ajustar la dosis de N para algunos cultivos.

### Evolución de otros parámetros químicos.

De los balances de nutrientes analizados surgió que los niveles aplicados de P permitieron reponer lo extraído por la mayor parte de los cultivos. Eso determinó un mantenimiento y en algunos casos una mejora de los valores de este elemento cuantificados al final de la secuencia agrícola. Cuando se incluyeron esquemas mixtos con presencia de verdes o pasturas de distinta longitud, los valores finales resultaron menores que los esquemas agrícolas (Tabla 4-3), ya que las pasturas fueron fertilizadas con P solamente en la implantación, confirmando la importante demanda de este elemento por parte de las forrajeras leguminosas (García, 2000; Berardo, 2004).

Tabla 4-3: Valores de fósforo (ppm) y pH para distintas secuencias bajo labranza convencional.

| Ensayo 0                 |              |        |      | Ensayo 1              |  |         |      |
|--------------------------|--------------|--------|------|-----------------------|--|---------|------|
|                          |              | P      | pH   |                       |  | P       | pH   |
| <i>Inicial (1982)</i>    |              | 13,2   | 6,5  | <i>Inicial (1994)</i> |  | 17,3    | 6,3  |
| Agric. Normal            |              | 17,3 a | 6,3  | T/M                   |  | 19,9 cd | 6,3  |
| Agric. Intensa           |              | 19,9 a | 6,2  | T/G                   |  | 19,2 d  | 5,5  |
| <i>Secuencias (1993)</i> | Mixto verdes | 12,0 b | 6,3  | T/S                   |  | 23,0 a  | 5,7  |
|                          | Mixto P.C    | 7,2 cd | 6,5  | T/T/G                 |  | 21,3 bc | 5,7  |
|                          | Mixto P.L    | 9,8 bc | 6,5  | T/M/S                 |  | 21,7 ab | 5,7  |
| <i>Secuencias (2011)</i> |              |        |      | T/M/G                 |  | 21,5 b  | 5,8  |
| DMS                      |              | 3,95   | 0,35 |                       |  | 1,32    | 0,38 |

T: trigo; M: maíz; G: girasol; S: soja; P. C: pastura corta; P. L: pastura larga. Letras distintas indican diferencias significativas entre secuencias. Fuente: Ensayos con labranzas CEI Barrow.

Otro parámetro de importancia es el nivel de acidez del suelo. Su variación se debe a factores naturales (lavado de bases de intercambio por las lluvias, reemplazo por cationes ácidos en la capa arable; descomposición de los residuos orgánicos que liberan ácidos; fijación simbiótica de N que libera hidrógeno a la solución del suelo) o a causa de la acción del hombre (laboreo del suelo que aumenta las pérdidas de bases y la mineralización del N orgánico, lo que se traduce en aumento del ión Hidrógeno y caída del pH natural del suelo; y la aplicación de fertilizantes) (Campillo; Sadzawka, 2005)

La aplicación de fertilizantes amoniacales (fosfato de amonio) y amídicos (urea), inducen a una acidificación en el proceso de nitrificación del amonio. La intensidad de esta acidificación está regulada por la cantidad de fertilizante aplicado y el manejo dado al suelo.

En los ensayos con labranzas no se observaron diferencias significativas debidas a los distintos tratamientos empleados (Tabla 4-3), aunque la acidificación aumentó con respecto al valor inicial.

Considerando todos los parámetros analizados en este capítulo, se infiere que la planificación de la fertilización debe considerar la demanda de los cultivos, pero también la etapa en que cada cultivo requiere los nutrientes, para así ajustar el momento de la aplicación y evitar pérdidas que pueden derivar en potenciales fuentes de contaminación.

Simultáneamente, en esta planificación, además de la nutrición de cultivos, también es necesario mantener la fertilidad de los suelos y preservar la calidad ambiental, factores que deben ser considerados con el objetivo de lograr una mayor estabilidad del escenario productivo regional.

### Bibliografía

- BERARDO, A. 2004. Manejo de la fertilización en una agricultura sustentable. Informaciones agronómicas del cono sur. Inpofos 23:23-25.
- CIAMPITTI, I.; F. GARCIA. 2009. Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. Ipni Cono sur. En: [www.ipni.net/ipniweb/portal](http://www.ipni.net/ipniweb/portal).
- CAMPILLO, R.; A. SADZAWKA. 2005. La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. [www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33853.pdf](http://www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33853.pdf).
- CORDONE, G., F. MARTINEZ. 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. Informaciones agronómicas del cono sur. Inpofos 24:1-4.



- FERRARIS, G. 2003. Nutrientes absorbidos por los cultivos pampeanos. EEA INTA Pergamino. En: Artículos técnicos. Página web Proyecto Fertilizar INTA.
- FERRARI, M., 2010. Nuestros actuales sistemas de producción agrícola son ambientalmente sustentables?. Informaciones agronómicas del cono sur. Inpofos 48:6-10.
- FORJAN, H. 2004. Balance de nutrientes en secuencias agrícolas de la región sur bonaerense. Informaciones agronómicas del cono sur. Inpofos21: 8-11
- GARCIA, F. 2000. Requerimientos nutricionales de los cultivos. Inpofos cono sur. Publicación Jornada Fertilidad 2000 (Pp.40-43).
- GARCIA, F. 2003. Balance de nutrientes en la rotación: Impacto en rendimientos y calidad del suelo. 2º Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. Aapresid, Proyecto Fertilizar e Inpofos.
- GARCIA F., M. F. M. GONZALEZ SAN JUAN. 2010. Balances de nutrientes en Argentina. ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? Informaciones agronómicas del cono sur 48:1-5.
- GONZALEZ, N. 2002. Nutrición nitrogenada del cultivo de soja. Uso de inoculantes. Actas de 19ª.Jornada de Actualización Profesional. INTA-FCA UNM del Plata-CIAM.
- GUDELJ, V.; C. GALARZA; M. FERRARI; C. SENIGAGLIESI; A. BERARDO; N. DARWICH y H. ECHEVERRIA. 2006. La fertilización en cultivos extensivos de la región pampeana argentina: aportes del INTA. Informaciones agronómicas del cono sur. Inpofos 30: 19-21
- STUDDERT G. 2006. Taller Sustentabilidad Agrícola: El rol de los ensayos de larga duración: La experiencia de la Unidad Integrada Balcarce. En CD. 30 Aniversario de los ensayos de rotaciones de
- VENTIMIGLIA L., H. CARTA, S. RILLO. 2000. Exportación de nutrientes en campos agrícolas. Informaciones agronómicas del cono sur. Inpofos nº7.

# Capítulo 5- La materia orgánica del suelo

*El carbono orgánico del suelo. Diferencias entre tratamientos y su evolución en el tiempo. La rotación con pasturas. El aporte de rastrojos. Balance de Carbono.*

Ing. Agr. (MSc.) M. Lucrecia Manso, Ing. Agr. Horacio Forján

La materia orgánica (MO) es un componente fundamental del suelo, ya que de ella dependen muchas de sus propiedades químicas, físicas y biológicas. La MO contiene aproximadamente el 98% del nitrógeno (N) del suelo y está constituida principalmente por carbono (58%) (Álvarez; Steinbach, 2010). Por lo cual, representa el mayor reservorio y fuente de los nutrientes requeridos por las plantas, a los que se llega mediante procesos de descomposición y mineralización. Variaciones en su contenido originan cambios en la fertilidad del suelo, en la estabilidad del sistema poroso, en la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua (Robinson et al., 1994), y en la susceptibilidad a la compactación de los suelos (Quiroga et al., 1999).

El contenido de MO en un suelo es el resultado del balance entre las tasas de humificación (ganancia) y mineralización (pérdida). Este balance depende de la cantidad, calidad, oportunidad y mecanismo de retorno de carbono(C)al suelo a través de los residuos (Robinson et al., 1994), y puede ser modificado con la rotación de cultivos, fertilización y sistemas de labranza (Doran; Smith, 1987;Studdert; Echeverría, 2000; Six et al., 2002).De acuerdo a su aplicación, estas técnicas de producción afectan el estado inicial de la MO, de allí que suelos de un mismo origen y en una misma zona presenten valores diferentes.

## Rotación de cultivos

La presencia de pasturas en la rotación es de vital importancia, ya que por sus características de producción de biomasa vegetal y de distribución de raíces, posibilita recomponer el contenido de MO del suelo (Studdert et al., 1997; Forján, 2000; Eiza et al., 2006). Bajo pastura hay menor remoción del suelo, elevada densidad de raíces, gran aporte de restos de biomasa aérea, lo que favorece la acumulación de MO (Puget, Lal, 2005).

En base a la información obtenida en el primer Ensayo de rotaciones, donde se analizó la evolución de la MO de varias secuencias, se pudo establecer la variación de este parámetro a través del tiempo, ajustando la longitud de los ciclos agrícolas y ganaderos. Estos resultados permitieron comprobar que, con el empleo de labranza, y para la combinación de cultivos agrícolas empleada, fue posible manejar el contenido de MO dentro de límites que permitieran mantenerlo en valores estables, lo que aseguraba la sustentabilidad del sistema de producción. Para las condiciones estudiadas, una duración máxima del ciclo agrícola de 7 años y una duración mínima del período bajo pastura de 3 años, permitieron mantener esa estabilidad, no comprometiendo el funcionamiento del sistema mixto (Figura 5.1). Valores similares fueron informados por Studdert et al.(1997), para suelos de Balcarce, con niveles de MO superiores. Una mayor longitud del período bajo pastura, posibilitó prolongar el ciclo agrícola, pero esta recomendación estuvo sujeta al mantenimiento de una elevada producción forrajera de la pastura. A su vez, la caída del contenido de MO por efecto del ciclo agrícola, varió con la combinación de los cultivos involucrados en la secuencia. La duración mínima de la pastura siguiente necesaria para recuperar el contenido inicial de MO, resultó ser de 3, 4 y 6,5 años para las secuencias maíz-trigo-girasol, trigo-girasol y trigo-soja, respectivamente (Forján,2000).

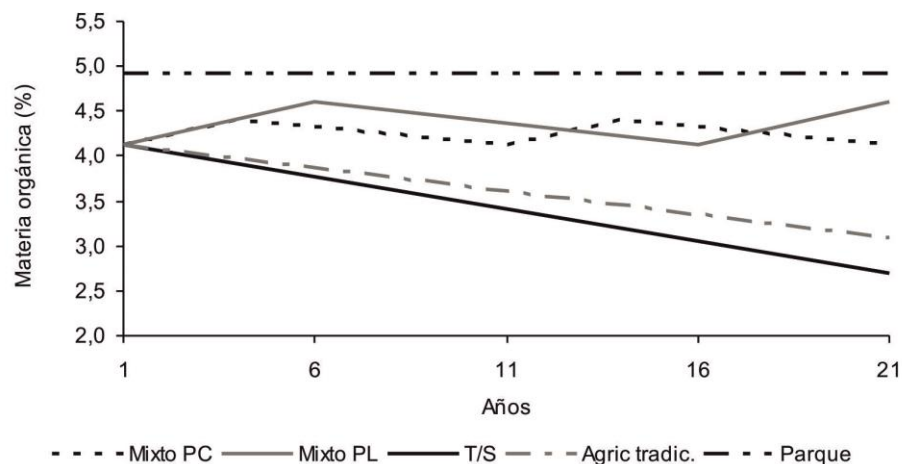


Figura 5.1: Evolución de la materia orgánica con distintas rotaciones y en una condición sin disturbar (parque) en 20 años (Mixto PC: mixto con pastura corta: 7/3; Mixto PL: mixto con pastura larga:10/5; T/S: trigo/soja; Agric. Tradic.: agricultura tradicional). Fuente: Ensayo de rotaciones con labranzas CEI Barrow.

Cuando se analizaron esquemas de agricultura continua con labranzas (Ensayo de rotaciones 1), se observó que una mayor frecuencia de cultivos que aportaron gran volumen de rastrojos y raíces, con alta relación carbono-nitrógeno (C/N), como las gramíneas (Tabla 5.1), permitió atenuar la tasa de disminución del contenido de MO.

Tabla 5.1: Producción de grano (Rto) y materia seca (MS) de residuos de distintos cultivos y su relación Carbono/Nitrógeno (C/N). Fuente: Ensayos de rotaciones en siembra directa CEI Barrow.

| Cultivo         | Rto. (kg.ha <sup>-1</sup> ) | MS rastrojos (kg.ha <sup>-1</sup> ) | Relación C/N | Concepto de C/N |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------|-----------------|
| Trigo           | 3300                        | 4620                                | 102          | Alta            |
| Cebada          | 3400                        | 4420                                | 109          | Alta            |
| Avena           | 3700                        | 5550                                | 100          | Alta            |
| Colza           | 1700                        | 2550                                | 78           | Intermedia      |
| Girasol         | 2200                        | 3740                                | 71           | Intermedia      |
| Maíz            | 6800                        | 9520                                | 91           | Alta            |
| Sorgo granífero | 4380                        | 8540                                | 88           | Alta            |
| Soja            | 2200                        | 3300                                | 45           | Baja            |

Luego de 18 años de agricultura continua bajo labranza convencional, todas las secuencias evaluadas presentaron una disminución de la MO del suelo (Figura 5.2), y esa pérdida fue mayor cuando aumentó la presencia de soja en la rotación. En contraposición, la caída se atenuó al aumentar la frecuencia de cultivos que aportaron elevado volumen de rastrojos (maíz, trigo) con alta relación C/N (Forján et al., 2012). La secuencia trigo-soja fue la que presentó la mayor caída en el contenido de MO (33,7%), y la menor disminución correspondió a la secuencia trigo-maíz, con una pérdida de 12,1%.

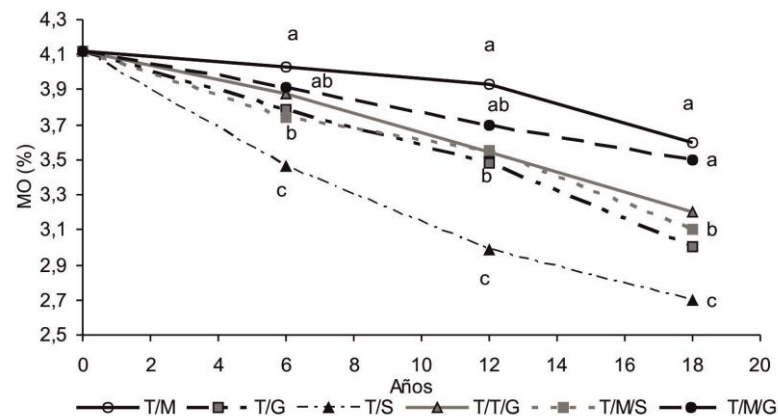


Figura 5.2: Evolución del contenido de materia orgánica (MO) durante un período de 18 años para distintas secuencias (T=trigo; M=maíz; G=girasol; S=soja) con labranza convencional. Letras distintas indican diferencias significativas entre secuencias para un mismo año. Fuente: Ensayo de rotaciones con labranzas CEI Barrow.

Este comportamiento se relacionó directamente con el aporte de residuos de cada secuencia. Si bien en todas se evidenció una disminución del contenido de MO con los años, la pérdida fue diferente de acuerdo al aporte que realizaron las gramíneas, cuanto mayor resultó su aporte, menor fue la caída (Figura 5.3a). Las secuencias con mayor presencia de oleaginosas fueron las de mayor impacto sobre la caída de la MO del suelo, independientemente de la cantidad de residuos que aportaron las mismas (Figura 5.3b).

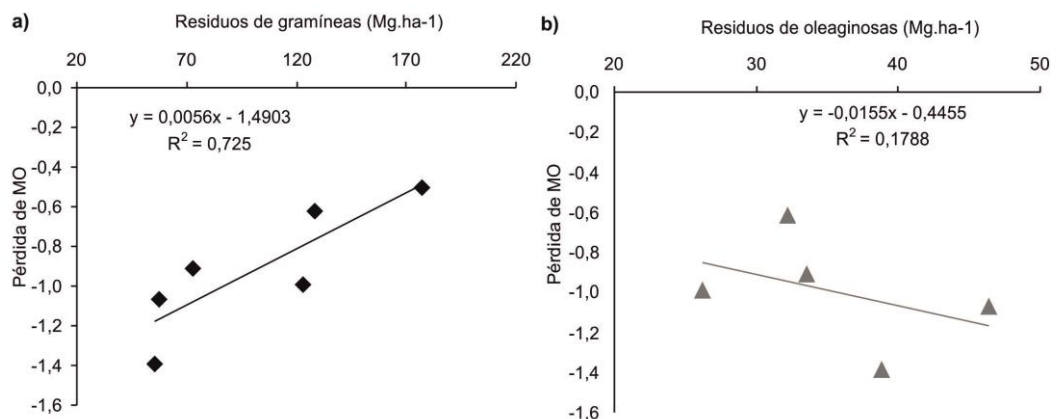


Figura 5.3: Relación entre el aporte total de residuos de gramíneas (a), oleaginosas (b) y la caída de materia orgánica (MO). Fuente: Ensayo de rotaciones con labranzas CEI Barrow.

## Sistema de labranza

Los efectos que se presentaron en la variación de la MO no sólo fueron atribuidos a los cultivos incluidos en la rotación, sino también al tipo de labranza que se implementó (Havlin et al., 1990).

Las labranzas agresivas, como la labranza convencional (LC), producen ruptura de macroagregados, lo que origina la pérdida de MO al exponer las fracciones protegidas dentro de éstos a la acción de los microorganismos (Tisdall; Oades, 1982). En cambio, bajo siembra directa (SD), la ausencia de remoción permite disminuir las pérdidas de C del suelo hacia la atmósfera (Figura 5.4), ya que se reduce la exposición de la MO a la acción de los microorganismos (Follet, 2001).

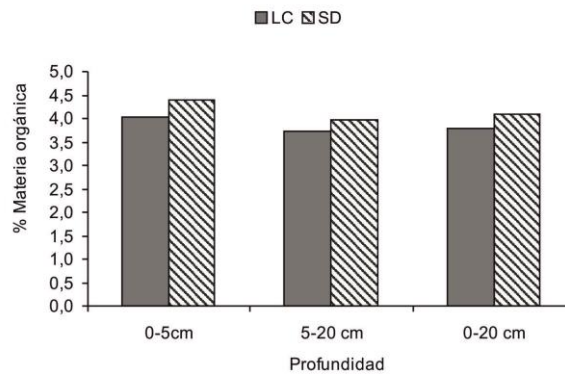


Figura 5.4: Contenido de materia orgánica bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD), en tres profundidades (0-20 cm corresponde al promedio ponderado de las profundidades restantes). Fuente: Ensayo de rotaciones con diferentes labranzas CEI Barrow.

El sistema de labranza además, afecta la distribución de la MO en el perfil. Bajo LC, los residuos son incorporados y mezclados en la capa superficial, obteniéndose contenidos de MO constantes hasta la profundidad de laboreo. En cambio, el empleo de SD origina estratificación de la MO (Figura 5.5), verificándose mayores contenidos en los primeros centímetros (Wander et al., 1998; Franzluebbers, 2002; Eiza et al., 2005; Fabrizzi et al., 2005; Galantini et al., 2006; Domínguez et al., 2009). Esto es debido a la falta de incorporación de los residuos y a que no se altera el ordenamiento natural de los componentes sólidos del suelo por ausencia de remoción (Quiroga et al., 1998; Gil; Garay, 2001).

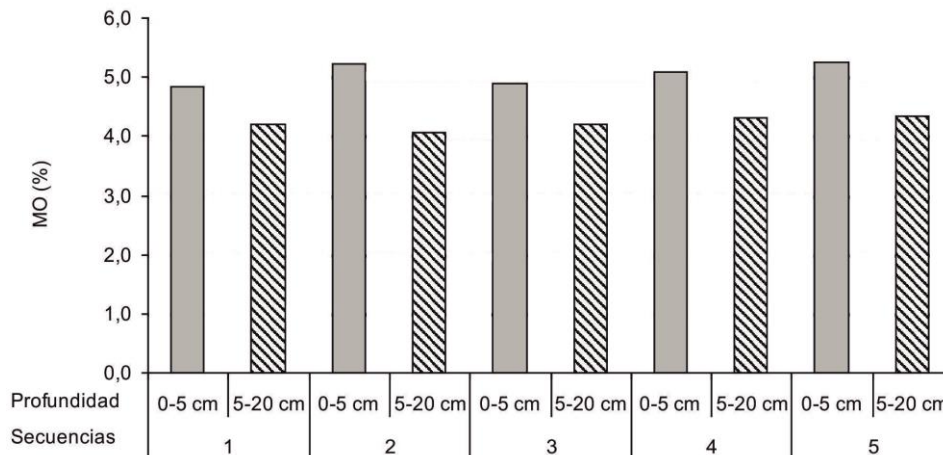


Figura 5.5: Contenido de materia orgánica (MO) a dos profundidades luego de 12 años bajo SD, con diferentes secuencias (S) de cultivo (S1: agrícola conservacionista; S2: mixto: rotación con pasturas (sin verdeos); S3: agrícola de invierno (para suelos limitados); S4: mixto, tradicional con verdeos; S5: agrícola intenso (actual)). Fuente: Ensayo de rotaciones en SD CEI Barrow.

## Fracciones de la MO

La MO está compuesta por fracciones de diferente labilidad, la MO particulada (MOP) o lábil y, la MO asociada a los minerales (MOA). La MOP (MO en la fracción del suelo mayor que 53 µm) consiste en residuos de plantas y animales parcialmente descompuestos con un rápido ciclado, es más sensible a los factores de manejo y posee gran importancia en la provisión de nutrientes. La MOA (MO en la fracción del suelo menor que 53 µm) está compuesta por productos de descomposición más procesados en íntima asociación con las partículas de suelo, tiene un lento reciclado y es importante en el secuestro de carbono (C) y en el mantenimiento de la estructura del suelo (Murage et al., 2007).

La evaluación de la variación de la MOP en el tiempo, puede dar indicios en forma temprana de los efectos producidos por las prácticas de manejo. Numerosos autores (Cambardella; Elliott, 1992; Wander et al., 1994; Fabrizzi et al., 2003; Eiza et al., 2006) citan la mayor sensibilidad de esta fracción respecto a la MO total (MO) para distinguir situaciones de manejo, lo que permitiría utilizarla como un indicador de calidad del suelo (Fabrizzi et al., 2003). En forma

coincidente con estos autores, cuando se evaluó el contenido de MO, MOP y MOA en el ensayo de labranzas y el parque (condición sin disturbar) de la CEI Barrow (Figura 5.6), se observó que las diferencias más notorias entre las situaciones evaluadas se presentaron en los niveles de MOP (Manso et al., 2012).

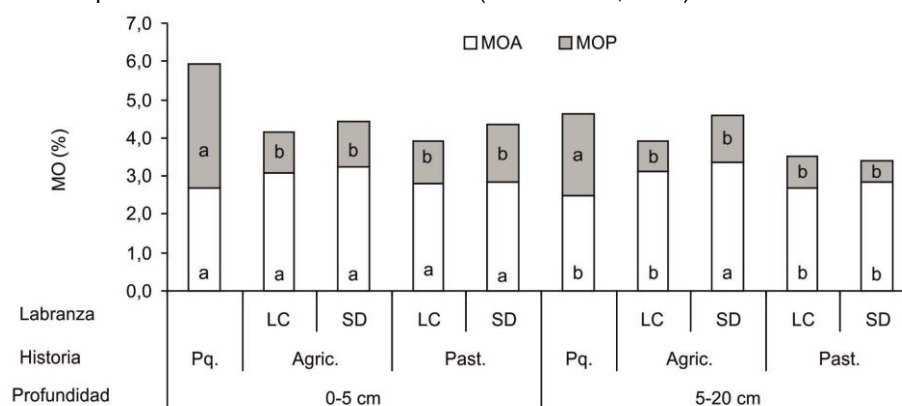


Figura 5.6: Contenido de materia orgánica particulada (MOP), asociada a la fracción mineral (MOA) y total (MOP+MOA) en el parque (Pq.) e historia de pastura (Past.) y agrícola (Agric.) bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas entre la condición sin disturbar (Pq.) y los tratamientos para cada profundidad y cada fracción de MO (MOP y MOA). Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas en el contenido de MO total entre el parque y los tratamientos en cada estrato. Fuente: Ensayo de rotaciones con diferentes labranzas CEI Barrow.

### Balance de C

Los principales efectos de la rotación de cultivos se dan en el largo plazo y están asociados a la dinámica de la MO en el suelo. El balance de C es la relación que se presenta entre la cantidad que ingresa al sistema como residuo vegetal (se considera que los residuos vegetales tienen en promedio un 40% de C en su composición) y la que se libera por respiración microbiana. Esta pérdida está constituida por la emisión de dióxido de C ( $CO_2$ ), producida en la descomposición de los residuos y en la mineralización de la MO humificada (Álvarez, Steinbach, 2010). Este proceso aumenta con el laboreo.

La cantidad y calidad de los residuos vegetales difiere según los cultivos seleccionados para integrar la secuencia agrícola (Cordone et al., 1993) y el manejo posterior de los mismos. En este aspecto, se han mencionado asociaciones con la fertilización nitrogenada (Campbell; Zentner, 1993; Fabrizzi et al., 2003; Eiza et al., 2005), reportando mejoras en el contenido de MO, y con las labranzas (Álvarez et al., 1998; Studdert et al., 2005), lo que determina distintas tasas de descomposición según sean dejados en superficie o semi-incorporados al suelo. Varios autores (Studdert, Echeverría, 1998; Martelloto et al., 2001) han citado pérdidas de MO asociadas a una mayor presencia de cultivos de verano, especialmente soja, en las secuencias de cultivo, debido a que el C mineralizado anualmente no es compensado por la escasa cantidad y baja relación C/N de sus rastrojos.

Se han propuesto modelos matemáticos para obtener el balance de C del suelo. Uno de ellos, es el Modelo de Henin-Dupuis (Figura 5.7), en el que interviene el coeficiente de humificación ( $k_1$ ) y el coeficiente de mineralización ( $k_2$ ). Cuando el residuo que ingresa al suelo comienza a descomponerse, una parte del C de estos se mineraliza produciendo  $CO_2$ , y la parte restante, se humifica (ingresa al C del suelo). A su vez, los microorganismos descomponen la MO provocando la mineralización del C.

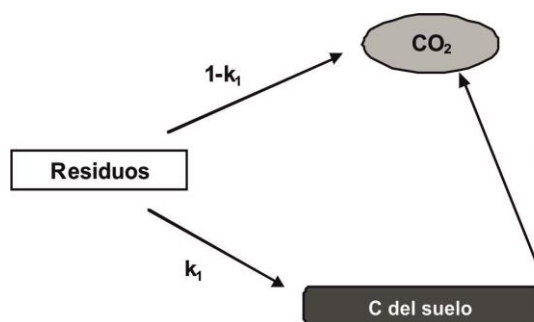


Figura 5.7: Diagrama del modelo Héning-Dupuis. ( $k_1$  = coeficiente de humificación de los residuos de cultivo,  $k_2$  - coeficiente de mineralización de la MO)

En la figura 5.8 se muestra el balance de C en el Ensayo de rotaciones con diferentes labranzas, para maíz y soja. Se tuvieron en cuenta los aportes efectuados por ambos cultivos (biomasa de rastrojos y raíces) y la pérdida de C (de acuerdo al valor de MO, densidad aparente, espesor de suelo considerado y el coeficiente de mineralización).

Bajo LC se logra un mayor aporte de C a través de los rastrojos, debido a que el coeficiente de humificación ( $k_1$ ) de los residuos de cultivo es mayor respecto a SD. Esto se debe a que los residuos son desmenuzados e incorporados al suelo a través de la labranza, lo que los hace más accesibles a la descomposición microbiana. Sin embargo, la pérdida

de C bajo este sistema de laboreo (k2, mineralización) también es superior respecto a SD, ya que la remoción rompe los agregados dejando más expuestas las fracciones de MO a condiciones oxidantes, originando la pérdida de C como CO<sub>2</sub>.

En el caso de la soja, al producir un escaso volumen de rastrojos, el balance es negativo, aun con labranza conservacionista.

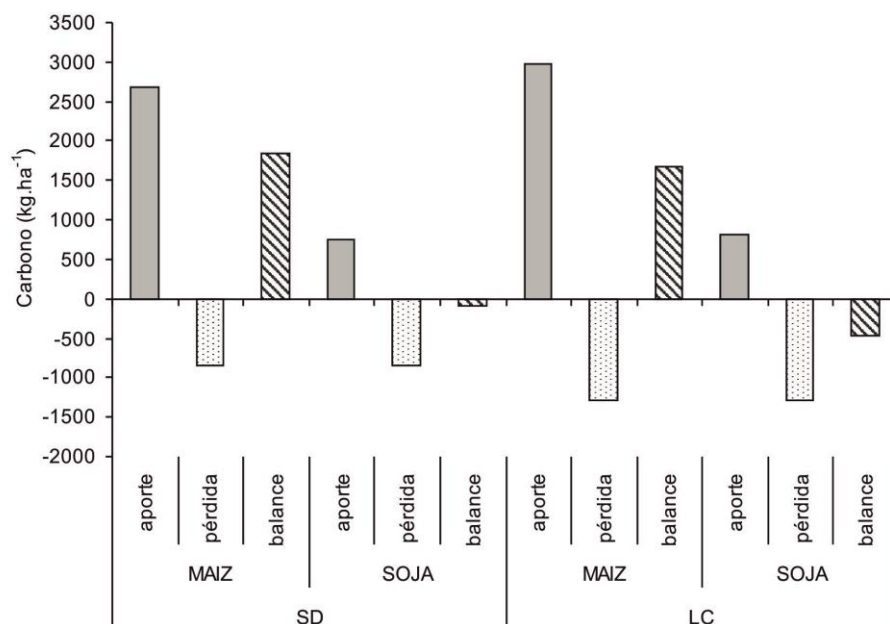


Figura 5.8: Balance de Carbono en SD y LC para maíz y soja. Fuente: Ensayos rotaciones con diferentes labranzas de CEI Barrow.

Cuando se realizó el balance de C para los diferentes cultivos intervinientes en las secuencias bajo SD de la CEI Barrow (Figura 5.9), se observó que para aquellos cultivos que aportaron mayor volumen de rastrojo (maíz, trigo, cebada) se obtuvieron balances positivos, mientras que las oleaginosas (girasol, y principalmente soja de primera y segunda) tuvieron valores negativos. En el caso del doble cultivo (gramíneas/soja), se logró un mayor aporte de residuos en un mismo año, por lo que el balance resultó mayor que el logrado con un solo cultivo en el mismo período.

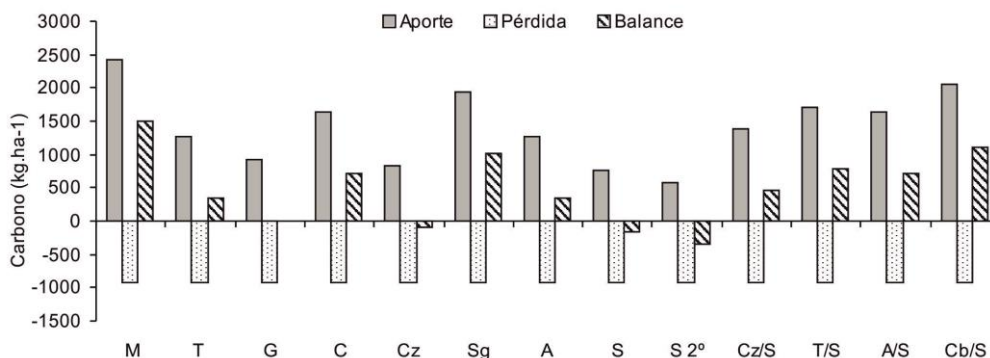


Figura 5.9: Aporte de carbono a través de los residuos de cultivos empleados en las rotaciones, pérdida anual de carbono y Balance (M=maíz; T=trigo; G=girasol; Cb=cebada; Cz=colza; Sg= sorgo; A= avena grano; S=soja; S2ª=soja de segunda. /S= doble cultivo soja 2ª). Fuente: Ensayos de rotaciones en SD CEI Barrow.

En los suelos del centro-sur bonaerense, la elección de los cultivos que componen la secuencia resultó fundamental para manejar los niveles de MO de la capa arable del suelo. Una mayor presencia de gramíneas benefició el aporte mientras que el predominio de oleaginosas en la secuencia, especialmente soja, provocó importantes disminuciones. La magnitud de esa pérdida se acentuó cuando se emplearon labranzas. Estos resultados alertan sobre la pérdida de fertilidad de estos suelos, situación que puede revertirse con la inclusión de pasturas en la rotación o la planificación de secuencias que no impliquen balances negativos de MO, con lo cual se lograría evitar la posible degradación del recurso suelo y mantener sustentable al sistema de producción.

### Bibliografía

ALVAREZ, R; RUSSO, M.; PRYSTRUPA, P.; SCHEINER, J.; BLOTTA, L. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. Agron. J. 90:138-143.

- ALVAREZ R., STEINBACH, H. 2010. Balance de carbono en agrosistemas. En: Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana. Cap. 4(203-216)
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56 (3): 777-783.
- CAMPBELL, C.; ZENTNER, R. P. 1993. Soil organic matter as influenced by crop rotations and fertilization in an aridichaploporoll. *Soil Sci. Soc. A. J.* 57:1034-1040
- CORDONE, G. E.; FERRARI, M. C.; OSTOJIC, J. J.; PLANAS, G. 1993. Caracterización de los residuos de cosecha de los principales cultivos del norte de la Provincia de Buenos Aires. En: Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mendoza, Octubre 1993. Pp. 191-192.
- DOMINGUEZ, G. F.; STUDDERT, G. A.; ECHEVERRIA, H. E. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. En: Echeverría, H. E.; García F. O. (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp 207-229.
- DOMINGUEZ, G. F.; DIOVISALVI, N. V.; STUDDERT, G. A.; MONTERUBBIANESI, M. G. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on Mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Till. Res.* 102(1):93-100.
- DORAN, J. W.; SMITH, M. S. 1987. Organic matter Management and utilization on soil and fertilizer nutrients. In: Follet, R. F. (ed) Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. Soil Science Society of America Inc., Madison, WI, USA. SSSA Spec. Pub. Nº 19. pp. 53-72.
- EIZA, M. J.; FIORITTI, N.; STUDDERT, G. A.; ECHEVERRIA, H. E. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ci. Suelo* 23(1):59-68.
- EIZA, M. J.; STUDDERT, G. A.; FIORITTI, N.; DOMINGUEZ, G. F. 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en Molisoles de Balcarce. Actas 20º Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, septiembre de 2006. En CD.
- FABRIZZI, K. P.; MORON, A.; GARCIA, F. O. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fraction in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67(6):1831-1841.
- FABRIZZI, K. P.; GARCIA, F. O.; COSTA, J. L.; PICONE, L. I. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81(1): 57-69.
- FOLLET, R. F. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil Tillage Res.* 61:77-92
- FORJAN, H. J. 2000. Rotaciones en sistemas mixtos: la pastura perenne base de la agricultura sustentable en la región. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación; INTA Centro Regional Buenos Aires Sur. Material didáctico Nº 1. 11 p.
- FORJAN, H. J.; MANSO, M. L.; ZAMORA, M. 2012. Evolución del contenido de materia orgánica en rotaciones agrícolas. Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo- XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, abril 2012. En CD.
- FRANZLUEBBERS, A. J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66(2):95-106.
- GALANTINI, J. A.; LANDRISCINI, M. R., HEVIA, C. 2006. Contenido y calidad de la materia orgánica particulada del suelo en siembra directa. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, septiembre de 2006. En CD.
- GIL, R.; GARAY, A. 2001. La SD y el funcionamiento sustentable del suelo. En: Panigatti, J.; Buschiazzo, D.; Marelli, H. (eds.). Siembra Directa II. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. pp:5-15.
- HAVLIN, J. L.; KISSEL, D. E.; MADDUX, L. D.; CLAASSEN, M. M.; LONG, J.H. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:448-452
- JANZEN, H. H. 2006. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it? *Soil Biol. Biochem.* 38(3):419-424.
- MANSO, M. L.; FORJAN, H. J.; STUDDERT, G. A.; SAN MARTINO, S. 2012. Efecto de sistemas de labranza contrastantes sobre algunas propiedades de un molisol de Tres Arroyos bajo distintos usos previos. *Rev. FCA UNCUYO* 44(1): 85-99.
- MARTELLOTTO, E.; SALAS, H.; LOVERA, E. 2001. Sustentabilidad de los sistemas agrícolas en la provincia de Córdoba: Factores que la condicionan. Boletín técnico INTA Manfredi (12 p.)
- MURAGE, E. W.; VORONEY, P. R.; KAY, B. D.; DEEN, B.; BEYAERT, R. P. 2007. Dynamics and turnover of soil organic matter as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71(4):1363-1370.
- PUGET, P.; LAL R. 2005. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. *Soil Tillage Res.* 80:201-213
- QUIROGA, A.; ORMEÑO, O; PEINEMANN, N. 1998. Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos En: Panigatti, J.; Marelli, H.; Buschiazzo, D.; Gil, R. (eds.). Siembra Directa. INTA Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp. 237-243.
- QUIROGA, A.; BUSCHIAZZO, D., PEINEMANN, N. 1999. Soil compaction is related to managements practices in the semiarid Argentine pampas. *Soil Till. Res.* 52(1-2):21-28
- ROBINSON, C. A.; CRUSE, R. M.; KOHLER, K. A. 1994. Soil Management. Pp. 109-134. En: JL Hatfield & DL Karlen (eds.) Sustainable agriculture systems. Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida, E.E.U.U.
- SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241(2):155-176.
- STUDDERT, G. A.; ECHEVERRIA, H. E.; CASANOVAS, E. M. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1466-1472.
- STUDDERT, G. A.; ECHEVERRIA, H. E. 1998. Rotaciones agrícolas y dinámica del carbono orgánico del suelo en Balcarce. En: Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Villa Carlos Paz, mayo 1998.

- STUDDERT, G. A.; ECHEVERRIA, H. E. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- STUDDERT, G. A.; DOMINGUEZ, G. F.; EIZA, M. J.; VIDELA, C. 2005. Actas Simposio "Impacto de la intensificación de la agricultura sobre el recurso suelo". Colonia del Sacramento. R. O. Uruguay. (14 pp.)
- TISDALL, J. M.; OADES, J. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33(2):141-161.
- WANDER, M. M.; TRAINA, S. J.; STINNER, B. R.; PETERS, S. E. 1994. Organic and conventional management effects on biologically-active soil organic matter pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* -58(4):1130-1139.
- WANDER, M. M.; BIDART, M. G.; AREF, S. 1998. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62(6):1704-1711.



# Capítulo 6-Las propiedades físicas del suelo

## Principales indicadores de las variaciones físicas producidas por los diferentes manejos. Diferencias entre tratamientos y su evolución en el tiempo.

Ings. Agrs. (MSc.) M. Lucrecia Manso, (MSc.) Martín Zamora

### Resistencia mecánica a la penetración, densidad aparente y estabilidad estructural

Tanto la rotación de cultivos como las labranzas son prácticas que ejercen una marcada influencia sobre el funcionamiento del suelo y sobre el comportamiento de los cultivos, condicionando las relaciones suelo-planta (Domínguez et al., 2005). Las labranzas modifican algunas propiedades físicas del suelo, como la estructura y su estabilidad, la densidad aparente (DAP), la distribución de poros, la dinámica del agua y la resistencia mecánica a la penetración (RMP) (Lal, 1994; Buschiazzo et al., 1998; Taboada; Micucci, 2002). Éstas también son afectadas por la secuencia de cultivos empleada, principalmente debido a su influencia sobre la materia orgánica (MO) y al efecto de los diferentes sistemas radicales, ya que a través de la producción de mucílagos y por acción física, inciden sobre la agregación y la porosidad (Tisdall; Oades, 1982).

La medición de DAP y RMP permiten cuantificar el grado de compactación de un suelo. La DAP se define como la masa por unidad de volumen de suelo ( $Mg.m^{-3}$ ), es decir, expresa la relación entre los sólidos y el espacio poroso del suelo. Su valor será mayor cuando menor sea el espacio poroso, dependiendo principalmente de la textura y del contenido de MO del suelo. Esta propiedad puede afectar la emergencia de las plántulas por cambios en el volumen y en la continuidad de los poros de la cama de siembra (Nasr; Seles, 1995). Incrementos en la DAP del suelo resultan en una menor proliferación de raíces y menores tasas de movimiento de agua y aire (Taylor; Ratliff, 1969; Álvarez; Steinbach., 2009).

La RMP mide el grado de dureza que presenta un determinado suelo, mientras que la DAP hace referencia a la densificación o pérdida de porosidad. La RMP indica la fuerza que se requiere para introducir un elemento (penetrómetro de cono) en el suelo, simulando la fuerza que debe ejercer una raíz para crecer en el perfil, cuyos resultados han sido correlacionados con el crecimiento de raíces y la productividad de los cultivos (Letey, 1985). Si bien algunos autores citan a la RMP como más sensible que la DAP para detectar efectos de labranzas (Bauder; Black, 1981; Hammel, 1989), se considera a esta última como una medición más estable que la RMP, ya que es menos afectada por el contenido de agua del perfil (Vepraskas, 1988; Yoo; Wander, 2006). Por otra parte, la RMP es relativamente fácil de medir aunque demanda un gran número de muestras debido a la variabilidad espacial del suelo. El promedio de las medidas de RMP hechas dentro de un rango prefijado de profundidades, recibe el nombre de índice de cono (IC).

Es comúnmente citado (Grant, Lafont, 1993; Wander, Bollero, 1999; Lampurlanés, Cantero-Martínez, 2003; Fabrizio et. al, 2005) que el empleo de labranzas conservacionistas, como siembra directa (SD), a través de los años suele causar compactación del suelo, lo que resulta en un aumento de la DAP y de la RMP. El incremento de la resistencia a la penetración pudo observarse a partir de los 7,5 cm de profundidad luego de 12 años bajo SD (Tabla 6-1), en el ensayo N°3, en el que se compararon diferentes secuencias de cultivo bajo SD. Sin embargo, los valores de DAP obtenidos al inicio del ensayo (1998) y en el año 2010, no mostraron grandes variaciones (Tabla 6- 2), por lo que supone sólo un incremento de la dureza del mismo sin una consecuente pérdida de porosidad.

Tabla 6.1: Resistencia mecánica a la penetración al inicio del ensayo bajo siembra directa (año 1998), promedio para todas las parcelas, y luego de 12 años (año 2010) para las cinco secuencias evaluadas (S1: agrícola conservacionista; S2: mixto, rotación con pasturas; S3: agrícola de invierno para suelos someros; S4: mixto, tradicional con verdeos; S5: agrícola intenso). Fuente: Ensayos de rotaciones en SD CEI Barrow.

| Año                                     | Profundidad (cm) |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | 0                | 2,5  | 5    | 7,5  | 10   | 12,5 | 15   | 17,5 | 20   |
| 1998                                    | 0,42             | 0,89 | 0,96 | 1,06 | 1,18 | 1,38 | 1,40 | 1,53 | 1,59 |
| Agrícola conservacionista               | 0,34             | 0,52 | 0,89 | 1,34 | 1,63 | 1,76 | 1,84 | 1,84 | 1,79 |
| Mixto, rotación con pasturas            | 0,28             | 0,58 | 0,95 | 1,46 | 1,64 | 1,75 | 1,78 | 1,74 | 1,64 |
| 2010                                    | 0,28             | 0,47 | 0,82 | 1,39 | 1,97 | 2,10 | 2,09 | 2,02 | 1,88 |
| Agrícola de invierno para suelo someros | 0,26             | 0,46 | 0,91 | 1,29 | 1,64 | 1,93 | 2,05 | 1,96 | 1,88 |
| Mixto, tradicional con verdeos          | 0,28             | 0,46 | 0,82 | 1,36 | 1,90 | 2,00 | 2,02 | 2,10 | 2,02 |
| Agrícola intenso                        |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |

Tabla 6.2: Densidad aparente (DAP) al inicio del ensayo bajo siembra directa (año 1998), promedio para todas las parcelas, y luego de 12 años (año 2010) para las cinco secuencias evaluadas (S1: agrícola conservacionista; S2: mixto, rotación con pasturas; S3: agrícola de invierno para suelos someros; S4: mixto, tradicional con verdeos; S5: agrícola intenso). Fuente: Ensayos de rotaciones en SD CEI Barrow.

| Año                                     | Profundidad (cm) |       |
|---|------------------|-------|
|   | 0-10             | 10-20 |
| 1998                                    | 1,07             | 1,24  |
| Agrícola conservacionista               | 1,05             | 1,30  |
| Mixto, rotación con pasturas            | 1,08             | 1,27  |
| 2010                                    | 1,11             | 1,28  |
| Agrícola de invierno para suelo someros | 1,07             | 1,26  |
| Mixto, tradicional con verdeos          | 1,04             | 1,28  |
| Agrícola intenso                        |                  |       |

Por otra parte, en suelos bajo prácticas agrícolas con remoción (labranza convencional, LC), la DAP superficial generalmente es baja, pero debajo de la profundidad de laboreo se pueden generar capas compactadas (Larney, Kladviko 1989). Bajo este sistema de labranza también se ha encontrado un incremento en los valores de RMP que disminuyen con el incremento de la profundidad, evidenciando la presencia de una capa densificada debido al uso de los implementos agrícolas (Krüger, 1996).

En el ensayo N°2, en el que se compararon dos historias de uso previo (pastura y agricultura) y dos sistemas de labranza (LC y SD), luego de diez años (Manso et al, 2012), la RMP fue mayor bajo SD respecto a LC desde los 5 cm hasta los 10 cm (Figura 6-1), lo que estaría indicando un incremento de la dureza como consecuencia de una reconsolidación del suelo, debido a la ausencia de laboreos en el sistema conservacionista (Soane, 1990; Taboada et al., 2008). El incremento de la dureza también se observó en ambos sistemas de labranza a mayor profundidad, acercándose al valor de 2 MPa, considerado como umbral crítico para el crecimiento en longitud de las raíces (Grant; Lafond, 1993; Narro Farias, 1994).

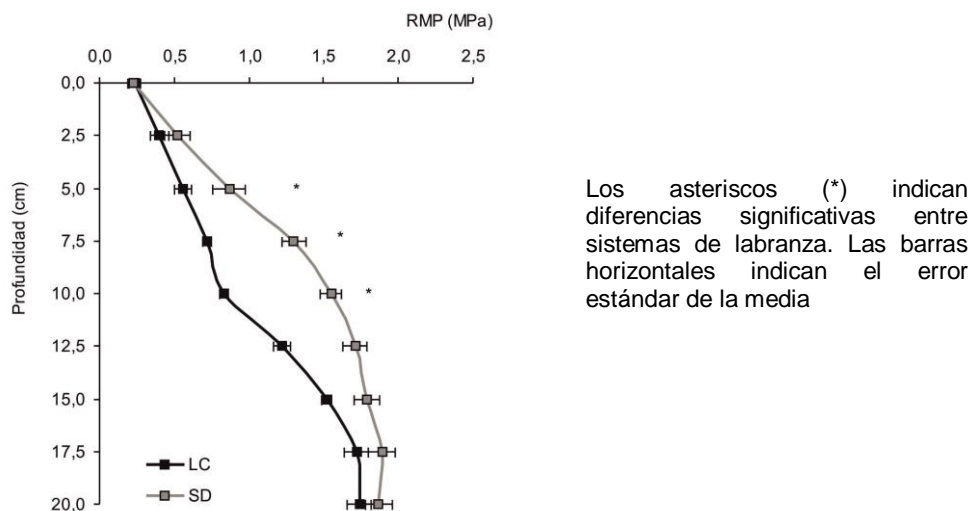


Figura 6.1: Resistencia a la penetración (RP) hasta 20 cm de profundidad para labranza convencional (LC) y siembra directa (SD). Los asteriscos (\*) indican diferencias significativas entre sistemas de labranza. Las barras horizontales indican el error estándar de la media. Fuente: Ensayo de rotaciones con diferente labranza CEI Barrow.

En cambio, los valores de DAP en superficie (3-8 cm) no difirieron estadísticamente entre historias ni entre labranzas (Figura 6-2). No obstante, se observó una tendencia a mayor densificación bajo SD de 3 a 8 cm (1,24 vs. 1,29  $\text{Mg m}^{-3}$  para LC y SD, respectivamente) y con historia agrícola (1,28  $\text{Mg m}^{-3}$ ) respecto a historia de pastura (1,25  $\text{Mg m}^{-3}$ ), aunque posiblemente estas diferencias no tengan implicancias para el normal establecimiento del cultivo. A mayor profundidad (13 a 18 cm) la DAP fue similar en ambos sistemas de labranza (1,43  $\text{Mg m}^{-3}$ ) y en ambas historias previas (1,41 y 1,42  $\text{Mg m}^{-3}$  para historia agrícola y con pastura, respectivamente).

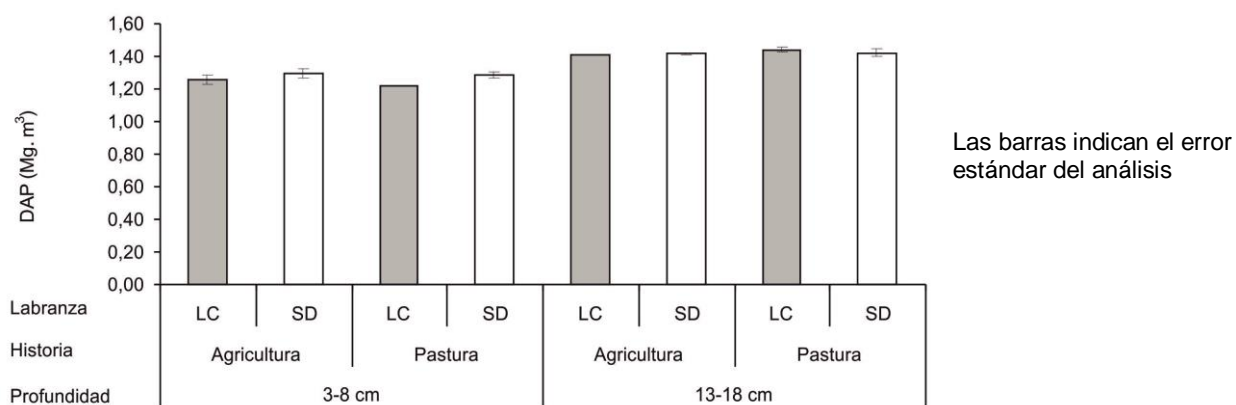


Figura 6.2: Densidad aparente (DAP) para las historias pastura y agricultura bajo los dos sistemas de labranza, siembra directa (SD) y labranza convencional (LC), en los estratos de 3 a 8 cm y de 13 a 18 cm. Las barras indican el error estándar del análisis. Fuente: Ensayo de rotaciones con diferente labranza CEI Barrow.

La estructura de un suelo se refiere a la organización de la fase sólida (fracción mineral y materia orgánica) en forma de agregados, con el espacio poroso (aire y agua) que existe en el mismo.

La persistencia de esa estructura ante diferentes tipos de estreses (lluvias erosivas, rápido humedecimiento de suelos secos, labranzas, tránsito de maquinaria, pisoteo animal) determina la estabilidad estructural (EE) de ese suelo. La EE es una estimación indirecta de la capacidad de almacenar agua y aire en la zona de exploración de las raíces, ya que el estado de agregación afecta el movimiento y la disponibilidad de agua y aire para las plantas (Reynolds et al.,

2002; Dexter, 2004). La pérdida de estructura se ve reflejada principalmente en la formación de costras, en un mayor escurrimiento superficial y en la compactación superficial o subsuperficial.

Usualmente, bajo SD se observa mayor EE, lo que se atribuye al hecho de mantener el suelo cubierto por residuos, que protegen a los agregados del impacto de las gotas de lluvia, y a los mayores contenidos de MO observados bajo este sistema de labranza (Gudelj; Masiero, 2000; Taboada, 2008), considerada uno de los principales agentes que favorecen la agregación del suelo.

La estabilidad de los agregados se expresa como el valor de cambio en el diámetro medio ponderado de los agregados (CDMP, mm), que es la diferencia entre el diámetro medio ponderado de los agregados en seco y el diámetro de los agregados luego de tamizarlos en agua. El CDMP es un índice inverso de la EE, por lo cual, a mayor CDMP, menor es la estabilidad de la estructura de ese suelo. Al comparar LC y SD con dos historias de uso previo (pastura y agricultura), no se encontraron diferencias en los primeros 10 cm de suelo (Figura 6-3). Sin embargo, de 10-20 cm sólo se registraron diferencias debidas al sistema de labranza empleado, SD presentó mayor estabilidad (CDMP: 2.44 mm) respecto a LC (CDMP: 3,17 mm) (Manso et al, 2012).

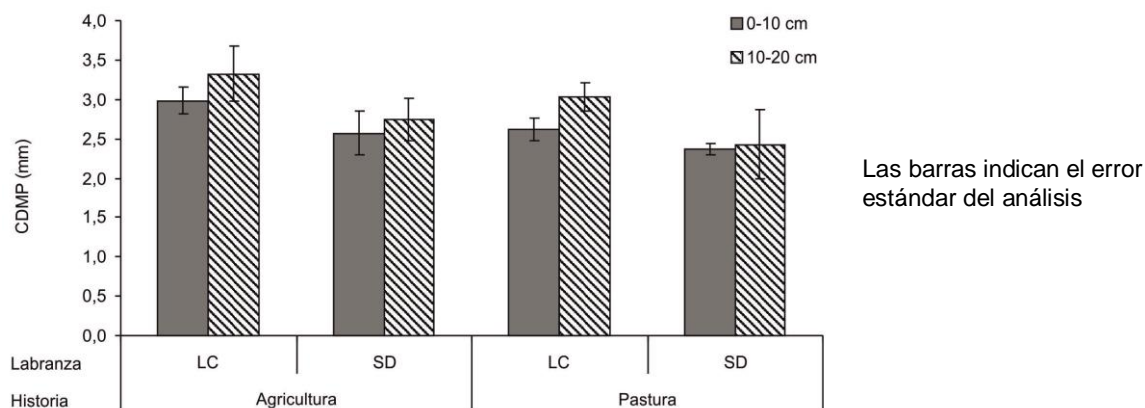


Figura 6.3: Cambio en el diámetro medio ponderado de los agregados (CDMP) en los estratos de 0-10 cm y de 10-20 cm de profundidad, según historia previa (pastura y agricultura) y sistema de labranza (siembra directa (SD) y labranza convencional (LC)). Las barras indican el error estándar de la media. Fuente: Ensayo de rotaciones con diferente labranza CEI Barrow.

La estabilidad estructural de un suelo también puede expresarse a través del *índice de estabilidad de agregados* (IEA), el cual es el cociente entre el valor del CDMP de un suelo de referencia (cuasi prístino o sin disturbado) y el CDMP de los tratamientos evaluados, expresado como porcentaje.

Luego de 10 años de agricultura continua (1 cultivo por año) bajo LC y SD, el IEA fue muy bajo para ambos sistemas de labranza (20% y 24% de 0-10 cm, y 18% y 22% de 10-20 cm, para LC y SD, respectivamente), respecto al parque de la CEI Barrow (IEA: 100%). Estos valores indican que los agregados de estos suelos con uso agrícola poseen alrededor del 20% de la estabilidad del mismo suelo sin disturbado. La mayor estabilidad de los agregados en el parque estaría asociada a la ausencia de remoción por labores mecánicas, a la acción física de las raíces de las diferentes especies que crecen en forma permanente en él y a la liberación de mucílagos que favorecen la estabilización de agregados (Perfect et al., 1990; Lavelle et al., 1997).

Sin embargo, en el ensayo bajo SD, luego de 12 años, la pérdida de estabilidad en superficie respecto a la condición sin disturbado (parque) no fue tan pronunciada como en el ensayo de comparación de labranzas (Echeverría et al, 2012). Los IEA oscilaron entre 53% y 36%, dependiendo de la secuencia de cultivos empleada, presentando mayor estabilidad aquella que incluyó pasturas en la rotación, y la menor, la secuencia que contó con un solo cultivo por año (Figura 6.4).

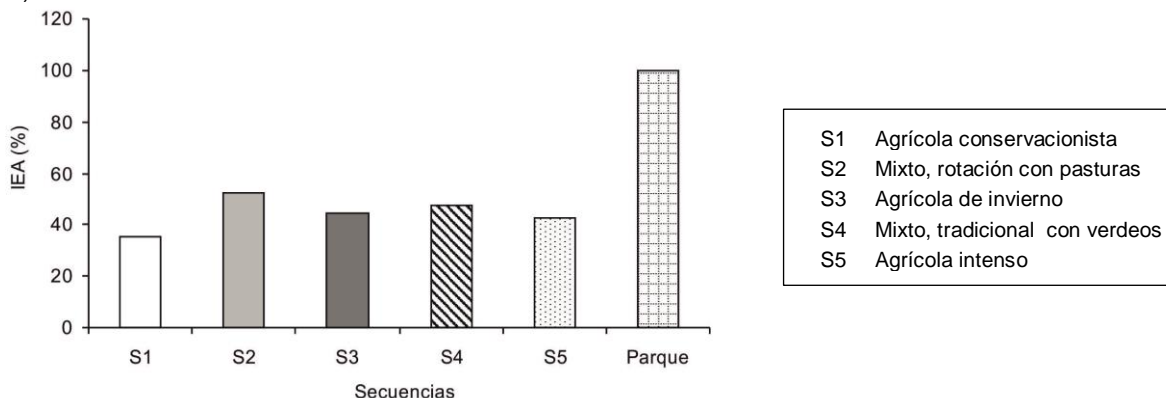


Figura 6.4: Índice de estabilidad de agregados (IEA) en los primeros 5 cm de suelo para diferentes secuencias de cultivo bajo siembra directa durante 12 años (S1: agrícola conservacionista; S2: mixto, rotación con pasturas; S3: agrícola de invierno; S4: mixto con verdeos; S5: agrícola intenso). Fuente: Ensayo de rotaciones en SD, CEI Barrow (Echeverría et al., 2012).

La rotación de cultivos y las diferentes labranzas empleadas modificaron algunas propiedades físicas del suelo, condicionando las relaciones entre suelo y plantas. En general, se observó un incremento de la DAP en subsuperficie, acentuándose bajo SD y con antecesor pastura. Los valores de RMP se incrementaron con los años y fueron en la mayoría de los casos superiores bajo SD, corroborando la ocurrencia de cambios originados por los distintos manejos empleados.

Sin embargo, las diferencias significativas medidas entre variables edáficas para secuencias o entre tratamientos, no siempre se reflejaron en los rendimientos obtenidos por los cultivos en los períodos analizados.

## Bibliografía

- ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.* 104 (1): 1-15.
- BAUDER, A; BLACK, A. L. 1981. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems alter 25 years and in virgin grassland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45(6):1166-1170.
- BUSCHIAZZO, D. E.; PANIGATTI, J. L.; UNGER, P. W. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49(1-2):105-116.
- DEXTER, A. R. 2004. Soil physical quality. Part. I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120(3-4):201-214.
- DOMINGUEZ, G. F; STUDDERT, G. A.; ECHEVERRIA, H. E. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. En: Echeverría, H. E.; García F. O. (eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp 207-229.
- ECHEVERRIA, N; QUEREJAZU, S; DELUCIA, M; SILENZI, J; FORJAN, H; MANSO, M. 2012. Estabilidad y carbono orgánico de agregados bajo rotaciones en siembra directa. *Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo- XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata, abril 2012.
- FABRIZZI, K. P.; GARCIA, F. O.; COSTA, J. L.; PICONE, L. I. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81(1): 57-69.
- GRANT, C. A.; LAFOND, G. P. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. SoilSci.* 73(2):223-232.
- GUDELJ, O.; MASIERO, B. 2000. Efecto del manejo del suelo sobre su estabilidad estructural. *Actas 17° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata, Buenos Aires, abril de 2000. En CD.
- HAMMEL, J. E. 1989. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in northern Idaho. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53(5):1515-1519.
- KRUGER, H. R. 1996. Compactación en Haplustoles del Sudoeste Bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. *Ci. Suelo* 14(2):104-106.
- LAL, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. USDA-The Ohio State University. *SMSS Technical Monograph* N° 21.78 p.
- LAMPURLANES, J.; CANTERO-MARTINEZ, C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95(3):526-536.
- LARNEY, F. J., KLADIVKO, E. J. 1989. Soil strength properties under four tillage systems at three long-term study sites in Indiana. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1539-1545.
- LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WALTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W.; DHILLION, S. 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem a changing engineers. *Eur. J. Soil Biol.* 33(4):159-193.
- LETEY, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. In: *Adv. in Soil Sci.* Volume I. Edited by B.A. Stewart- Springer-Verlag New York.
- MANSO, M. L.; FORJAN, H. J.; STUDDERT, G. A; SAN MARTINO, S. 2012. Efecto de sistemas de labranza contrastantes sobre algunas propiedades de un molisol de Tres Arroyos bajo distintos usos previos. *Rev. FCA UNCUYO* 44(1): 85-99.
- NARRO FARIAS, E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Ed. Trillas. México 194 p.
- NASK, H. M.; SELES, F. 1995. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. *Soil Till. Res.* 34(1): 61-76.
- PERFECT, E.; KAY, B. D.; LOON, W. K. P.; SHEARD, R. W.; POSAJOK, T. 1990. Rates of change in soil structural stability under forages compared to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54 (1): 179-186.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY C. F.; TANA C. S.; Lu X. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110(1-2): 131-146
- SOANE, B. D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. *Soil Till. Res.* 16(1-2): 179-201.
- TABOADA, M. A. 2008. Influencia de la textura y la estructura de los suelos sobre la fertilidad física. En: Taboada, M. A.; Álvarez, C. R (eds.). *Fertilidad física de los suelos* 2º ed. Facultad de A
- TABOADA, M. A.; MICUCCI, F. G.; ALVAREZ, C. R. 2008. Impedancias mecánicas y compactación en suelos agrícolas. En: Taboada, M. A.; Álvarez, C. R (eds.). *Fertilidad física de los suelos* 2º ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. pp. 94-153.
- TABOADA, M. A.; MICUCCI, F. G. 2002. Fertilidad física de los suelos. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 80 p.
- TAYLOR, H.; RATLIFF, L. 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. *SoilSci.* 108(2): 113-119.
- TISDALL, J. M; OADES, J. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33(2):141-161.

- VEPRASKAS, M. J. 1988. Bulk density values diagnostic of restricted root growth in coarse-textured soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52(4):1117-1121.
- WANDER, M. M.; TRAINA, S. J.; STINNER, B. R.; PETERS, S. E. 1994. Organic and conventional management effects on biologically-active soil organic matter pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58(4):1130-1139.
- YOO, G.; WANDER, M. M. 2006. Influence of tillage practices on soil structural controls over carbon mineralization. *SoilSci. Soc. Am. J.* 70(2):651-659.

# Capítulo 7- Las malezas, plagas y enfermedades

*Evolución de las poblaciones de malezas. Diferencias entre tratamientos. La rotación como herramienta de control.*

*Gusanos blancos de suelo en siembra directa. Variación con la secuencia.*

*Enfermedades de los cultivos: Pietín de los cereales.*

## EFFECTO DE LAS ROTACIONES DE CULTIVOS SOBRE LAS MALEZAS

*Ing. Agr. Carolina Istilar; Ing. Agr. Horacio Forján*

La disminución de rendimientos de cultivos, el aumento de costos de los insumos, las preocupaciones relacionadas con los efectos de los herbicidas en el medio ambiente, el aumento de la resistencia de las malezas a los herbicidas, ha incrementado el interés por el manejo integrado de malezas (MIM) (O'Donovan et al., 2007).

Cualquier técnica que apunte a reducir los niveles de infestación de las malezas (cultural, biológica, mecánica o química) debe estar en armonía con el programa de manejo del cultivo. Dentro del MIM es posible incluir prácticas como las rotaciones, cultivos de cobertura, manejo nutricional de los cultivos, sistema de labranza (Acciaresi; Sarandón, 2002).

Un cultivo es generador de un agroecosistema sujeto a modificaciones de sus componentes biótico y abióticos, que resulta propicio para el desarrollo de ciertas malezas. En una rotación, alternando los cultivos, el productor modifica el nicho ecológico de las malezas afectando los procesos demográficos y la dinámica de sus poblaciones, (Liebman; Dyck, 1993). La diversificación de cultivos también puede proporcionar una mayor flexibilidad en la elección de herbicidas con diferentes modos de acción, reduciendo así, el riesgo de selección de biotipos resistentes a los herbicidas de malezas (Anderson et al., 1999).

Por otro lado, la simplificación de los sistemas de cultivos puede ocasionar un aumento de malezas que requieren un uso intensivo de herbicidas para mantener las poblaciones en un nivel estable. En Francia, han aparecido poblaciones de *Alopecurus myosuroides* resistentes a herbicidas. Para estudiar los efectos de diferentes sistemas de cultivos sobre estos biotipos, se realizaron experimentos durante un período de tres años. Fueron evaluadas dos rotaciones, una integrada exclusivamente por cultivos de invierno y otra, por cultivos de primavera. En cada rotación se combinaron diferentes prácticas culturales: fechas de siembra, labranzas, reducción de dosis de fertilizantes nitrogenados y aplicación de herbicidas. La densidad de *Alopecurus myosuroides* disminuyó en todos los sistemas de cultivo, pero el control de la maleza mediante los herbicidas fue más eficaz cuando se combinó con prácticas no químicas. La introducción de los cultivos de primavera en la rotación dio los mejores resultados, tanto desde un punto de vista económico como del manejo de las gramíneas (Chauvel et al, 2001).

En sistemas agrícolas, la introducción de pasturas perennes en las rotaciones puede favorecer el manejo de las malezas, reduciendo el uso de herbicidas. Los cultivos de leguminosas han recibido atención en los sistemas integrados de manejo de malezas debido a su capacidad para suprimirlas a través de la competencia, efectos alelopáticos, siega y pastoreo (Liebman; Davis, 2000). Durante dos años, se estudiaron los efectos de la rotación de cultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.), trébol (*Trifolium pratense* L.), centeno (*Secale cereale* L.), y maíz (*Zea mays* L. var. Bonaf rugosa) sobre el banco de semillas de malezas. Al final del segundo año, las densidades de semillas y la diversidad, se modificaron en respuesta a los cultivos de la rotación. Los incrementos en la densidad fueron menores en rotación de maíz y más elevados con centeno. Esto puede atribuirse a la utilización de herbicidas pre y post-emergentes y labranzas. A pesar del control químico y mecánico en las rotaciones de maíz, no hubo diferencia significativa en la densidad del banco de semillas de malezas en comparación con las rotaciones de alfalfa y trébol, en las cuales no se utilizó ningún control químico ni mecánico (Bellinder, et al., 2004).

Graglia et al. (2006), en experimentos de rotaciones de pasturas de gramíneas más trébol rojo o blanco, observaron un efecto supresor sobre el crecimiento de *Cirsium arvense* a causa de un aumento de la competencia interespecífica de las forrajeras. Las estrategias se orientaron principalmente a la disminución de la capacidad de regeneración de la maleza mediante el corte. Los efectos medidos en el año siguiente en los cultivos de cebada de primavera fueron muy favorables.

La inclusión de cebada para ensilaje en una rotación puede ser una herramienta eficaz para el manejo integrado de *Avena fatua*. Las investigaciones realizadas en el oeste de Canadá indicaron que, en ausencia de herbicidas, el corte para el ensilaje de cebada fue muy eficaz para la reducción de las poblaciones de *Avena fatua*, especialmente cuando la cosecha de forraje se realizó en una etapa temprana de crecimiento. Se necesitaron dos años de cultivo de cebada para corte a fin de reducir significativamente la cantidad de semilla de la maleza en el banco de semillas del suelo. Las poblaciones de la maleza fueron mayores cuando el corte para ensilaje de la cebada se hizo en un estado fenológico más avanzado (ensilaje normal), pero resultaron significativamente más bajas que la cebada cultivada para grano (Harper et al., 2003).

En un experimento de 20 años de duración (Hume 1982) documentaron un incremento de la densidad de *Setaria viridis*, *Euphorbia serpyllifolia* y *Vicia spp* en monocultivo de trigo en comparación a la rotación de barbecho/trigo. En

agricultura continua, la densidad de *Setaria viridis* fue de 960 plantas por metro cuadrado (pl.m<sup>-2</sup>) en cambio, en el ensayo de rotaciones fue de solo 3,5 pl.m<sup>-2</sup>.

Algunas de estas referencias que muestran la importancia de rotar cultivos sobre las poblaciones de malezas pudieron comprobarse en los ensayos de rotaciones con labranzas de la CEI Barrow. Los efectos de la presencia de pasturas y la diversificación de los cultivos en el ciclo agrícola, con aplicaciones de distintos principios activos, mostraron diferencias en la evolución de la población de malezas (Tabla 7-1)

En el censo inicial (año 1987), cebadilla (*Avena fatua*), las especies pertenecientes a las poligonáceas (sanguinaria y enredadera anual) y crucíferas (nabón y mostacilla), fueron las especies de mayor abundancia con valores que variaron de 13 a 65 pl.m<sup>-2</sup> (Tabla 7-1). Después de 6 años, sanguinaria disminuyó en todas las rotaciones, siendo muy superior el valor en las secuencias 4 y 5 con la inclusión de varios años de pasturas consociadas de forrajeras perennes. Estas rotaciones y la 1, tuvieron similar influencia sobre las especies pertenecientes a la familia de las crucíferas, con una reducción promedio del 53,6 %.

En las rotaciones en donde se incluyeron más años de cultivos de verano (tratamientos 1 y 2), se observó un mayor efecto supresor sobre *Avena fatua*. En la secuencia 3, la inclusión de dos años de siembra de *Avena sativa* favoreció la difusión de esta maleza. Caapiquí (*Stellaria media*) y anagallis (*Anagallis arvensis*), mantuvieron estable su presencia en la rotación 1, mientras que en las restantes incrementaron la densidad de sus poblaciones, siendo superior en las rotaciones ganaderas 4 y 5, en las cuales también se observó un considerable aumento de apio cimarrón (*Ammi majus*), verónica (*Verónica pérsica*) y ortiga mansa (*Lamiun amplexicaule*). Estas malezas son muy difíciles de controlar en pasturas de leguminosas consociadas con gramíneas perennes.

Respecto al relevamiento anterior, aparecieron "nuevas" especies de dicotiledóneas como: manzanilla (*Anthemis cotula*). Pasto ovillo (*Dactylis glomerata*) y alfalfa (*Medicago sativa*), únicamente en la rotación integrada por 5 años con pasturas perennes. Quínoa (*Chenopodium album*) en la rotación 2 (con trigo y girasol), y soja en la secuencia en donde se incluyó este cultivo. También varió significativamente la presencia de girasol en las parcelas donde se sembró esta oleaginosa.

Tabla 7-1: Densidad de las especies de malezas (pl.m<sup>-2</sup>), en el censo inicial (1987) y final (1993). Diferencia en porcentaje (%) después de seis años, en cada una de las rotaciones.

| Rotaciones                   | Año 1987 | 1-T/S/T/S/T/S/T |         |       | 2-T/G/T/G/T/G/T |       | 3-T/A/AG/T/G/M/T |       | 4-T/TP/P/P/P/G/T |       | 5-T/P/P/P/P/P/T |  |
|------------------------------|----------|-----------------|---------|-------|-----------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|-----------------|--|
| Malezas (pl/m <sup>2</sup> ) | Inicial  | Final           | % (*)   | Final | % (*)           | Final | % (*)            | Final | % (*)            | Final | % (*)           |  |
| Crucíferas                   | 23       | 12              | 47,8 ↓  | 17    | 26,1 ↓          | 15    | 34,8 ↓           | 13    | 43,5 ↓           | 7     | 69,6 ↓          |  |
| Sanguinaria                  | 59       | 41              | 30,5 ↓  | 46    | 22,0 ↓          | 53    | 10,2 ↓           | 25    | 57,6 ↓           | 30    | 49,2 ↓          |  |
| Enredadera anual             | 6        | 0               | 100 ↓   | 0     | 100 ↓           | 2     | 66,7 ↓           | 2     | 66,7 ↓           | 1     | 83,3 ↓          |  |
| Cebadilla                    | 13       | 9               | 30,8 ↓  | 7     | 46,2 ↓          | 11    | 15,4 ↓           | 10    | 23,1 ↓           | 12    | 7,7 ↓           |  |
| Anagallis y capiquí          | 2        | 2               | 0,0 ↑   | 3     | 50 ↑            | 5     | 150 ↑            | 10    | 400 ↑            | 12    | 500 ↑           |  |
| Verónica y lamium            | 3        | 1               | 66,7 ↓  | 0     | 100 ↓           | 2     | 33,3 ↓           | 7     | 133 ↑            | 4     | 33,3 ↑          |  |
| Apio cimarrón                | 1        | 2               | 100 ↑   | 0     | 100 ↓           | 1     | 0 ↓              | 2     | 100 ↑            | 5     | 400 ↑           |  |
| Manzanilla                   | 0        | 0               | 0       | 0     | 0               | 0     | 0                | 0     | 0                | 6     | n               |  |
| Girasol                      | 2        | 0               | 100,0 ↓ | 12    | 500 ↑           | 14    | 600 ↑            | 13    | 550 ↑            | 0     | 100 ↓           |  |
| Soja                         | 0        | 2               | n       | 0     | 0               | 0     | 0                | 0     | 0                | 0     | 0               |  |
| Quínoa                       | 0        | 0               | 0       | 3     | n               | 0     | 0                | 0     | 0                | 0     | 0               |  |
| Pasto ovillo                 | 0        | 0               | 0       | 0     | 0               | 0     | 0                | 0     | 0                | 8     | n               |  |
| Alfalfa                      | 0        | 0               | 0       | 0     | 0               | 0     | 0                | 0     | 0                | 6     | n               |  |
| Total (pl/m <sup>2</sup> )   | 109      | 69              | 36,7 ↓  | 88    | 19,3 ↓          | 93    | 5,5 ↓            | 82    | 24,8 ↓           | 91    | 16,5 ↓          |  |

(\*) ↑, ↓, ↓ malezas que aumentaron, disminuyeron o mantuvieron la abundancia. T: trigo; S: soja; A: avena; G: girasol; M: maíz; P: pasturas consociadas

En el monocultivo de trigo, tratamiento que se mantiene bajo labranzas durante 29 años en la CEI Barrow, se observó la evolución de la densidad de *Avena fatua*. El comportamiento de la misma mostró la marcada capacidad de persistencia y reproducción de la maleza en esta región, aún luego de las aplicaciones realizadas que disminuyeron su población. La persistencia puede deberse a su capacidad de adaptación al cultivo. Existe una semejanza de la maleza con el cultivo de trigo relacionada con los requerimientos ambientales y una semejanza vegetativa y reproductiva entre las plantas de ambas especies que asegura su supervivencia (Mortimer, 1990).

Otro factor que influye en la evolución de *Avena fatua* es el uso continuado de herbicidas con el mismo mecanismo de acción. En algunas situaciones, los herbicidas inhibidores de la acetolacto sintetasa COA Carboxilasa ACCsa, como diclofop metil (Iloxan), fenoxaprop p etil (Puma) y clodinafop-propargyl (Topik), han generado resistencia a *Avena fatua* en 13 países (Heap, 2012.).

Tabla 7.2: Evolución de la población de Avena fatua en monocultivo de trigo. Fuente: Ensayos de rotaciones con labranzas CEI Barrow

| Años |    | Plantas.m <sup>2</sup> |               |
|------|----|------------------------|---------------|
| 1982 | 0  |                        |               |
| 1983 | 1  | 12                     |               |
| 1984 | 2  | 39                     |               |
| 1985 | 3  | 87                     | → Iloxán      |
| 1986 | 4  | 2                      |               |
| 1987 | 5  | 15                     |               |
| 1988 | 6  | 52                     |               |
| 1989 | 7  | 110                    | → Iloxán      |
| 1990 | 8  | 4                      |               |
| 1991 | 9  | 16                     |               |
| 1992 | 10 | 39                     |               |
| 1993 | 11 | 61                     | → Puma        |
| 1994 | 12 | 1                      |               |
| 1995 | 13 | 9                      |               |
| 1996 | 14 | 24                     |               |
| 1997 | 15 | 59                     |               |
| 1998 | 16 | 93                     | → Puma        |
| 1999 | 17 | 2                      |               |
| 2000 | 18 | 9                      |               |
| 2001 | 19 | 38                     | → Puma        |
| 2002 | 20 | 2                      |               |
| 2003 | 21 | 7                      |               |
| 2004 | 22 | 23                     |               |
| 2005 | 23 | 40                     | → Topik       |
| 2006 | 24 | 8                      |               |
| 2007 | 25 | 19                     | → Topik 24 EC |
| 2008 | 26 | 3                      |               |
| 2009 | 27 | 9                      |               |
| 2010 | 28 | 15                     | → Merit       |
| 2011 | 29 | 2                      | → Merit       |

Las aplicaciones de avenicidas se realizaron, en los primeros años, cuando se alcanzaba el nivel de 80 pl.m<sup>-2</sup>. Posteriormente y buscando un mayor control, se consideraron umbrales más reducidos.

Se pueden comparar los valores del monocultivo con las mediciones sobre *Avena fatua* presentadas en la Tabla 7.1, pudiendo corroborar el efecto benéfico de las rotaciones con inclusión de cultivos de verano, sobre el control de la población de esta maleza.

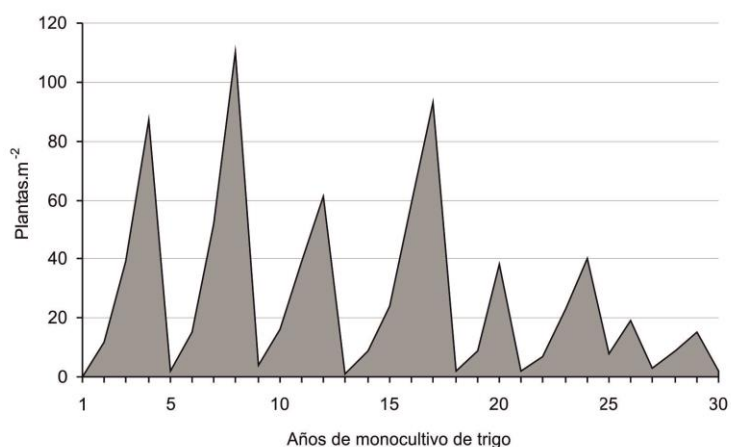


Figura 7.1: Evolución de la población de *Avena fatua* en monocultivo de trigo. Fuente: Ensayos de rotaciones con labranzas CEI Barrow.



# EFECTO CONJUNTO DE LA HISTORIA DEL LOTE Y LOS SISTEMAS DE LABRANZA SOBRE LAS POBLACIONES DE MALEZAS LUEGO DE 10 AÑOS DE ROTACION DE CULTIVOS

Ing. Agr. Carolina Istilart, Ing. Agr. Horacio Forján, Ing. Agr. (MSc) Lucrecia Manso

Estudios realizados sobre la respuesta de las malezas frente al sistema de laboreo empleado, presentan en general resultados dispares, pues son numerosos los factores que afectan su evolución (climáticos, tipos de suelo, cultivos, etc.). Por ello resulta importante analizar la evolución de las poblaciones de malezas en un período de estudio prolongado, como los ensayos de larga duración, para minimizar la elevada variabilidad de los resultados.

En el Ensayo nº 2 de la CEI Barrow implantado sobre distinta historia previa (suelo descansado a partir de una pastura de 4 años de duración e historia agrícola continua de 12 años), se realizaron durante diez años, dos ciclos de Girasol/Trigo/Maíz/Girasol/Trigo bajo dos sistemas de labranza: siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). En el trigo final, luego de 10 años de la secuencia agrícola, se comparó la estructura de la comunidad de las malezas en las cuatro situaciones agrícolas diferentes en cuanto al manejo del suelo: 1) suelo descansado con labranza convencional (1LC) y siembra directa (1SD) y 2) suelo con agricultura prolongada con labranza convencional (2LC) y siembra directa (2SD).

Los índices de diversidad de Shannon-Weaver y de equitabilidad de Pielou, fueron superiores en las parcelas 2LC y 2SD. El primero es un índice que indica la abundancia proporcional y el segundo, expresa la uniformidad de la presencia de las especies (Figura 7.2).

Una posible explicación de este resultado es la existencia de un gran número de especies adaptadas al laboreo debido al número de años que se ha empleado esta práctica. Además, es razonable pensar que el uso de productos químicos puede reducir la diversidad de malezas, aunque también esta diversidad podría aumentar con el tiempo al incrementarse el número de especies que son capaces de adaptarse o resistir a las aplicaciones de herbicidas.

Algunos estudios comparativos entre agricultura de conservación y convencional, muestran en general resultados contrastantes en la riqueza y diversidad de especies bajo estas prácticas. En este estudio, el índice de riqueza y la abundancia de individuos, fue mayor en la parcela 1LC (Figura 7.2 y Tabla 7.3). Al igual que para los cultivos, un suelo fértil bien manejado, en general favorece el desarrollo y la reproducción de las malezas. Los resultados obtenidos son coincidentes con otros trabajos llevados a cabo en el sur de la provincia de Buenos Aires (Istilart; Yannicari, 2011), y en la región pampeana norte (Puricelli; Tuesca, 2005), donde la riqueza florística fue superior en lotes de labranza convencional que bajo siembra directa.

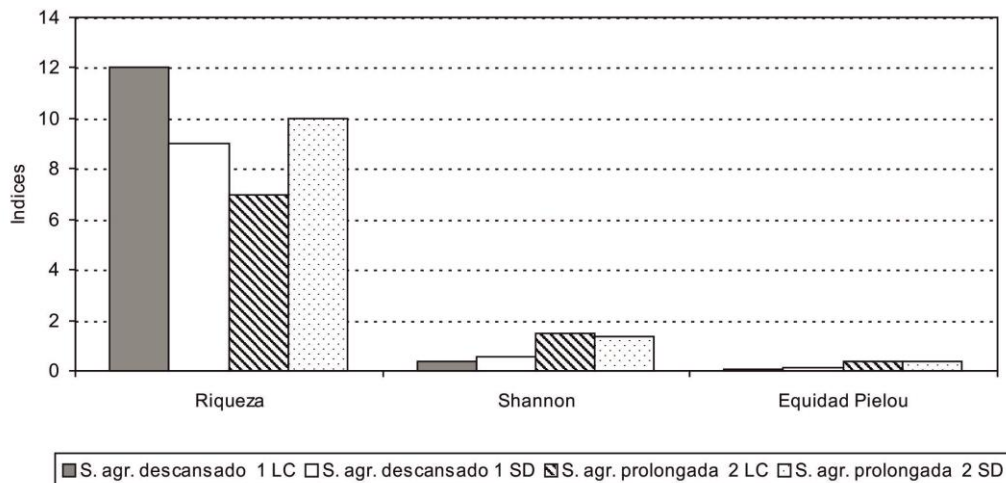


Figura 7.2: Índices de biodiversidad (Riqueza, índice de Shannon y Equidad, índice de Pielou) para cuatro situaciones de cultivo. Fuente: Ensayo de rotaciones con diferente labranza. CEI Barrow.

Como se puede observar en la Figura 7.2, en las cuatro situaciones agrícolas estudiadas la equidad fue baja. En 1LC, las dos especies más abundantes fueron *Polygonum aviculare* y *Chenopodium album* con un 83,7% de la densidad total, y en 1SD la última especie y *Helianthus annuus* "guacho" que representaron un 76,3 % del total de malezas. En las parcelas con mayor historia agrícola, tanto en 2LC como 2SD, las dos especies más importantes fueron *Chenopodium album* y *Helianthus annuus* "guacho" que totalizaron un 73 % de los individuos (Tabla 7.3).

En siembra directa el número de individuos de *Polygonum aviculare* fue inferior al de labranza convencional, debido posiblemente, a que esta especie requiere suelos fértiles para su desarrollo y reproducción.

Comúnmente las rotaciones de cultivos bien planificadas, incluyen gramíneas y cultivos de hoja ancha. Las malezas gramíneas son más comunes en rotaciones donde predominan gramíneas, y en los sistemas con más cultivos de hoja ancha predominan las malezas latifoliadas. En la secuencia analizada, con predominio de cultivos de verano, se favoreció la difusión de dicotiledóneas, siendo *Cynodon dactylon* la única gramínea presente.

Algunas especies como *Chenopodium album*, *Ammi majus* y las pertenecientes a la familia de las Asteráceas como *Taraxacum officinale*, *Sonchus oleraceus*, *Centaurea solstitialis* y cardos, fueron más abundantes en las parcelas de siembra directa (Tabla 7.3). Generalmente las especies de esta familia son de dispersión anemófila; algunos autores indican que el sistema de siembra directa favorece la difusión de sus semillas (Tuesca *et al.* 2001).

Tabla 7.3. Densidad de las malezas en cuatro situaciones agrícolas diferentes: suelo agrícola antecesor pastura con labranza convencional (1LC) y siembra directa (1SD) y suelo agricultura prolongada, con labranza convencional (2LC) y siembra directa (2SD).

| Nombre científico y nombre vulgar de especies malezas | Densidad (%)      |      |        | Densidad (%)       |     |        |
|---|-------------------|------|--------|--------------------|-----|--------|
|   | Antecesor pastura |      |        | Antecesor cultivos |     |        |
|   | 1L C              | 1SD  | Dif. % | 2L C               | 2SD | Dif. % |
| <i>Raphanus sativus</i> "Nabón"                       | 2,2               | 8,8  | 6,6 ↑  | 13,9               | 7,3 | 6,6    |
| <i>Rapistrum rugosum</i> "Mostacilla"                 | 1                 | 3,5  | 2,5 ↑  | 5,4                | 4,7 | 0,7    |
| <i>Polygonum aviculare</i> "Sanguinaria"              | 42,3              | 0,9  | 41,4   | 3,7                | 1   | 2,6    |
| <i>Chenopodium album</i> "Quinoa"                     | 41,4              | 60,8 | 19,5 ↑ | 33,7               | 49  | 15,2 ↑ |
| <i>Centaurea solstitialis</i> "Abrepuño amarillo"     | 0,2               | 2,3  | 2,1 ↑  | 2,3                | 3,6 | 1,4 ↑  |
| <i>Lamiun amplexicaule</i> "Ortiga mansa"             | 0,5               | 4,7  | 4,2 ↑  | 2                  | 1,6 | 0,4    |
| <i>Sonchus oleraceus</i> "Cerraja"                    | 0,1               | 0    | 0,1    | 0                  | 5,7 | 5,7 ↑  |
| <i>Taraxacum officinalis</i> "Diente de león"         | 0                 | 0    | 0      | 0                  | 1   | 1,0 ↑  |
| <i>Ammi majus</i> "Apio cimarrón"                     | 0,1               | 3,2  | 3,1 ↑  | 0                  | 2,1 | 2,1 ↑  |
| <i>Heliantus annuus</i> "Girasol"                     | 11,9              | 15,5 | 3,6 ↑  | 39,1               | 24  | 15,2   |
| <i>Bowlesia incana</i> "Perejilillo"                  | 0,1               | 0    | 0,1    |                    |     |        |
| <i>Cynodon dactylon</i> "Gramón"                      | 0,1               | 0    | 0,1    |                    |     |        |
| <i>Polygonum convolvulus</i> "Enredadera anual"       | 0,1               | 0    | 0,1    |                    |     |        |
| <i>Carduus nutans</i> "Cardo pendiente"               | 0                 | 0,3  | *0,3 ↑ |                    |     |        |
| Densidad de individuos (Plantas.m <sup>2</sup> )      | 139               | 57   |        | 47,2               | 32  |        |
| Riqueza   | 12                | 9    |        | 7                  | 10  |        |
| Numero de familias                                    | 7                 | 6    |        | 5                  | 6   |        |

\*↑ malezas con mayor presencia en SD que en LC

Fuente: Ensayo rotaciones con diferente labranza CEI Barrow

## EVOLUCION DE LAS COMUNIDADES DE MALEZAS DURANTE 12 AÑOS EN DISTINTAS ROTACIONES DE CULTIVOS IMPLANTADOS EN SIEMBRA DIRECTA

Ing. Agr. Carolina Istilart, Ing. Agr. Horacio Forján, Ing. Agr. (MSc) Lucrecia Manso

A partir de la SD se crea una nueva relación entre todos los factores que interactúan vinculados con el desarrollo de los cultivos y las malezas. Deben considerarse aspectos como la composición de la comunidad de malezas; elección y dosis del herbicida; tecnología de aplicación y uso de coadyuvantes; alternancia en el uso de los herbicidas; herbicidas residuales; cultivos tolerantes a los herbicidas.

Para el sistema de SD es muy importante el control cultural de malezas porque es un aporte sumamente económico e incluye entre otros aspectos: rotación de cultivos y cultivares adecuados; densidad de plantas; reducción de la separación entre hileras; residuos vegetales en superficie; uso de cultivos de cobertura, etc., por lo que es necesario un análisis de cada caso a fin de poder elaborar una estrategia de manejo adecuada al mismo.

Ciertas malezas tienden a asociarse con determinados cultivos, debido a la recurrencia en las prácticas de manejo. El cambio a un cultivo diferente interrumpe este ciclo, y modifica la presión de selección por determinadas especies. En general, las rotaciones variables conducen a los mejores resultados, ya que no permiten que se manifiesten repetidamente las mismas condiciones que contribuyen al crecimiento poblacional de determinadas especies que se convierten en poblaciones dominantes. Además, pueden variarse los herbicidas, lo que posibilita que no se produzca la aparición de malezas resistentes o incrementos de las malezas tolerantes a herbicidas.

En la CEI Barrow se evaluó el efecto de cinco situaciones de rotaciones de cultivos bajo siembra directa, durante 2 ciclos (1998-2003 y 2004-2009) sobre la presencia de malezas, mediante censos realizados al final de cada ciclo de 6 años en el cultivo de trigo.

Las situaciones o tratamientos evaluados durante 12 años fueron:

1. Agrícola conservacionista (maíz/girasol/trigo/maíz/girasol/trigo + girasol/trigo/sorgo/trigo/soja/trigo).
2. Mixto: rotación con pasturas (sin verdeos) (soja/trigo/pastura/pastura/pastura/trigo + soja/colza-soja<sup>2ª</sup>/trigo/sorgo/soja/trigo).
3. Agrícola de invierno (girasol/trigo/girasol/trigo/girasol/trigo + colza-soja 2ª/trigo/cebada-soja 2ª/colza-soja 2ª/cebada-soja 2ª/trigo).
4. Mixto tradicional con verdeos (trigo/avena-girasol/trigo/avena-girasol/trigo/trigo + avena-vicia-girasol/trigo/avena-vicia-girasol/trigo/avena-vicia-soja/trigo).
5. Agrícola intensivo, (trigo/avena-soja 2ª/colza-soja 2ª/cebada-soja 2ª/trigo-soja 2ª/trigo + soja/cebada-soja 2ª/colza-soja 2ª/cebada-soja 2ª/colza-soja 2ª/trigo).

Como puede observarse en la Tabla 7.4, al final del primer ciclo de rotaciones se determinaron 23 especies; la riqueza varió de 6 a 13 especies siendo las más diversificadas las rotaciones 1 (agricultura conservacionista), 2 (rotación con pasturas) y 5, agrícola intensiva.

Las malezas gramíneas más importantes por su constancia y densidad fueron: raigrás (*Lolium multiflorum*) y cebadilla (*Avena fatua*), y entre las latifoliadas, verónica (*Verónica pérsica*), cerraja (*Sonchus oleracea*), presentes en cuatro rotaciones, apio cimarrón o falsa biznaga (*Ammi majus*), en tres, y las pertenecientes a la familias de las asteráceas: falso cardo negro (*Carduus acanthoides*) y cardo negro (*Cirsium vulgare*).

En el segundo ciclo de rotaciones (2004-2009), la riqueza fue más homogénea, varió de 7 a 8 registrándose un total de 16 especies, siendo las de mayor constancia, raigrás, cebadilla, pensamiento silvestre (*Viola arvensis*), verónica, sanguinaria (*Polygonum aviculare*), ortiga mansa (*Lamium amplexicaule*) y perejilillo (*Bowlesia incana*).

Del análisis conjunto de las malezas observadas en cada ciclo de rotaciones (Tabla 7.4), surge que en las secuencias de cultivos, después de 12 años, algunas malezas persistieron como: cebadilla, raigrás, apio cimarrón, pensamiento silvestre, verónica, no me olvides (*Anagallis arvensis*) y *sanguinaria* (*Polygonum aviculare*). También las pertenecientes a la familia de las asteráceas como senecio (*Senecio madagascariensis*), cerraja y cardo pendiente (*Carduus nutans*).

Las especies que estuvieron presentes al final del primer ciclo y no se detectaron al final del segundo ciclo fueron: cardo asnal (*Silybum marianum*), diente de león (*Taraxacum officinale*), falso cardo negro, cardo negro, *Crepis setosa*, manzanilla (*Anthemis cotula*), caapiquí (*Stellaria media*), alfalfa (*Medicago sativa*), mostacilla (*Rapistrum rugosum* y *Sisymbrium officinale*), tutia (*Solanum sisymbriifolium*), malva cimarrona (*Anoda cristata*) y *enredadera anual* (*Polygonum convolvulus*).

En el segundo ciclo surgió otro grupo de especies consideradas “nuevas”, no registradas en el ciclo anterior como abrepuño amarillo (*Centaurea solstitialis*), quínoa (*Chenopodium album*), mastuerzo (*Coronopus didymus*), y algunas de difícil control, como ortiga mansa (*Lamium amplexicaule*) y lecherón (*Euphorbia maculata*), que aparecieron en todas la rotaciones, y perejilillo (*Bowlesia incana*) en tres secuencias.

Es importante destacar que la situación 2 terminó sin la presencia de dos gramíneas importantes, como raigrás y cebadilla (Tabla 7.5). Esto posiblemente se deba a la inclusión de 3 años de pasturas destinadas a pastoreo, que interrumpieron el ciclo de las malezas evitando la producción de semillas, principal fuente de difusión (Jenkinson, 1976; Bentley, 1990). Posteriormente, en el segundo ciclo, la siembra consecutiva de dos cultivos de verano, sorgo y soja, agotó el banco de semillas de las mencionadas especies. En el norte de Australia, Philpotts (1975), Wilson *et al.* (1985) y Felton (1993), redujeron las reservas de semilla de *Avena fatua* mediante una rotación de trigo y sorgo. Fernández-Quintanilla *et al.* (1984) demostraron de manera similar la importancia de los cultivos de verano para controlar las malezas de invierno. En la zona sur bonaerense se han detectado biotipos de *Lolium perenne* y *Avena fatua* resistentes a herbicidas.

Tabla 7.4: Malezas presentes al final de dos ciclos bajo siembra directa, en cinco secuencias de cultivo.

| Nombre científico y nombre vulgar de las especies de malezas | Especies de Malezas y Densidad (pl.m <sup>-2</sup> ) |    |   |   |    |                     |    |    |    |    |
|--|--|----|---|---|----|---------------------|----|----|----|----|
|  | Ciclo 1 : 1998-2003                                  |    |   |   |    | Ciclo 2 : 2004-2009 |    |    |    |    |
|  | Secuencias   |    |   |   |    | Secuencias          |    |    |    |    |
|  | 1  | 2  | 3 | 4 | 5  | 1                   | 2  | 3  | 4  | 5  |
| Lolium perenne y L. multfl. " Raigras"                       | 6  | 4  | 6 | 2 | 8  | 3                   |    | 5  | 3  | 9  |
| Avena fatua "Cebadilla"                                      | 4  | 4  | 3 | 1 | 9  |                     |    |    | 4  | 15 |
| Senecio madagascariensis " Senecio"                          | 5  | 2  |   |   | 2  |                     | 4  |    |    |    |
| Sonchus oleraceus " Cerraja"                                 | 9  | 7  | 3 | 1 |    |                     |    |    | 1  |    |
| Ammi majus " Apio cimarrón "                                 | 4  | 5  |   |   | 4  | 3                   |    |    |    |    |
| Viola arvensis "Violeta silvestre"                           | 4  | 1  | 5 |   | 1  |                     | 17 | 14 |    | 7  |
| Veronica arvensis "Verónica"                                 | 4  | 11 | 4 |   | 2  |                     | 7  | 2  |    | 4  |
| Polygonum aviculare " Sanguinaria"                           | 15   | 14 | 6 | 5 |    | 19                  | 46 |    | 4  |    |
| Polygonum convolvulus "Enredadera"                           | 2  |    | 3 |   |    |                     |    |    |    |    |
| Coronopus didymus "Mastuerzo"                                |  |    |   |   |    | 2                   |    | 4  |    |    |
| Anagallis arvensis " No me olvides"                          |  |    |   |   | 2  | 6                   |    | 7  |    |    |
| Carduus nutans " Cardo pendiente "                           |  | 2  |   |   |    | 3                   |    |    |    | 5  |
| Lamiun amplexicaule " Ortiga mansa"                          |  |    |   |   |    | 12                  | 2  | 37 | 8  | 83 |
| Bowlesia incana "Perejilillo"                                |  |    |   |   |    | 4                   |    | 4  | 19 |    |
| Colza  |  |    |   |   |    |                     | 5  | 14 |    |    |
| Centaurea solstitialis "Abrepuño amarillo"                   |  |    |   |   |    |                     |    |    |    | 2  |
| Chenopodium album "Quinoa"                                   |  |    |   |   |    |                     | 4  |    |    | 4  |
| Stellaria media "Capiquí"                                    | 4  |    |   |   |    |                     |    |    |    |    |
| Taraxacum officinales  | 5  | 4  |   |   |    |                     |    |    |    |    |
| Carduus acanthoides " Falso cardo negro"                     | 3  | 10 |   |   |    |                     |    |    |    |    |
| Cirsium vulgare "Cardo negro"                                | 3  | 4  | 2 |   |    |                     |    |    |    |    |
| Crepis setosa  |  |    |   |   | x  |                     |    |    |    |    |
| Medicago sativa "Alfalfa"                                    |  | 7  |   |   |    |                     |    |    |    |    |
| Rapistrum rugosum "Mostacilla"                               |  |    |   |   | 3  |                     |    |    |    |    |
| Sisimbrium officinale "Mostacilla"                           |  |    | 2 |   |    |                     |    |    |    |    |
| Anthemis cotula "Manzanilla"                                 |  |    |   | 2 |    |                     |    |    |    |    |
| Solanum sisymbriifolium "Tutia"                              |  |    |   | 1 | 1  |                     |    |    |    |    |
| Silybum marianum "Cardo asnal"                               |  |    |   |   | 1  |                     |    |    |    |    |
| Anoda cristata " Malva"                                      |  |    |   |   | 2  |                     |    |    |    |    |
| Euphorbia maculata "lecherón"                                |  |    |   |   | 3  | 7                   | 6  | 1  | 3  |    |
| Riqueza  | 13   | 13 | 9 | 6 | 13 | 9                   | 8  | 9  | 7  | 13 |

El número de aplicaciones de herbicidas efectuadas y de ingredientes activos utilizados en el último ciclo, fue superior en todas las rotaciones respecto del ciclo inicial (Tabla 7.5).

En ambos ciclos, el Glifosato resultó el herbicida con mayor participación, respecto del total de productos empleados, aumentando su participación en el último ciclo, con un incremento promedio de 42,5%.

La necesidad de adicionar el uso de nuevos principios activos para el control de gramíneas tanto en cultivos de cereales (Tralkoxidin, Clodinafop, Pinoxaden) como en cultivos de verano (Haloxifop, Propaquizafop) indica la dificultad creciente para controlar las especies malezas de esta familia.

De los herbicidas hormonales, el 2,4 D también tuvo un incremento, lo que indicaría una mayor abundancia de malezas pertenecientes a la familia de las asteráceas (Tabla 7.4 y Tabla 7.5).

Tabla 7.5: Pulverizaciones de herbicidas en cada rotación: frecuencia y principios activos empleados.

| Herbicidas                  | CICLO 1998-2003 |     |     |     |     |       | Herbicidas                  | CICLO 2004-2009 |    |     |     |     |       |
|-----------------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-------|-----------------------------|-----------------|----|-----|-----|-----|-------|
|                             | Secuencias      |     |     |     |     | Total |                             | Secuencias      |    |     |     |     | Total |
|                             | 1               | 2   | 3   | 4   | 5   |       | 1                           | 2               | 3  | 4   | 5   |     |       |
| Glifosato                   | 9               | 6   | 10  | 10  | 9   | 44    | Glifosato                   | 14              | 15 | 13  | 11  | 15  | 68    |
| Metsulfuron                 | 2               | 1   | 3   | 4   | 3   | 13    | Metsulfuron                 | 3               | 2  | 4   | 3   | 3   | 15    |
| Dicamba                     |                 |     |     |     |     | 0     | Dicamba                     | 3               | 3  | 4   | 3   | 5   | 18    |
| Picloran                    | 2               | 1   | 3   | 4   | 3   | 13    | Picloran                    |                 |    |     |     |     | 0     |
| 2,4 D                       |                 |     | 1   |     |     | 1     | 2,4 D                       | 3               | 2  | 4   | 3   | 3   | 15    |
| 2,4 DB                      |                 | 1   |     |     |     | 1     | 2,4 DB                      |                 |    |     |     |     | 0     |
| Fluorocloridona             | 2               |     | 3   | 2   |     | 7     | Fluorocloridona             | 1               |    |     | 2   |     | 3     |
| Acetoclor                   | 4               |     | 3   | 2   |     | 9     | Acetoclor                   | 1               |    |     | 2   |     | 3     |
| Atrazina                    | 2               |     |     |     |     | 2     | Atrazina                    | 1               |    |     |     |     | 2     |
| Bromoxinil                  |                 | 1   |     |     |     | 1     | Bromoxinil                  |                 |    |     |     |     | 0     |
|                             |                 |     |     |     |     |       | Clodinafop                  | 1               |    |     | 1   | 1   | 3     |
|                             |                 |     |     |     |     |       | Haloxifop                   |                 | 1  | 1   |     | 2   | 4     |
|                             |                 |     |     |     |     |       | Propaquizafop               |                 |    | 1   |     |     | 1     |
|                             |                 |     |     |     |     |       | Pinoxaden                   |                 |    | 1   |     | 1   | 1     |
|                             |                 |     |     |     |     |       | Tralkoxidin                 |                 |    |     |     | 1   | 1     |
| Aplicaciones                | 14              | 7   | 15  | 15  | 11  |       | Aplicaciones                | 19              | 18 | 20  | 15  | 23  |       |
| Aplicaciones /año           | 2,3             | 1,2 | 2,5 | 2,5 | 1,8 |       | Aplicaciones /año           | 3,2             | 3  | 3,3 | 2,5 | 3,8 |       |
| n° ingredientes activos     | 6               | 5   | 6   | 5   | 3   |       | n° ingredientes activos     | 8               | 5  | 7   | 7   | 8   |       |
| Part glifosato(%)           | 57              | 71  | 60  | 60  | 73  |       | Part glifosato(%)           | 74              | 83 | 65  | 73  | 65  |       |
| Lha <sup>-1</sup> Glifosato | 18              | 11  | 20  | 20  | 18  |       | Lha <sup>-1</sup> Glifosato | 31              | 34 | 29  | 25  | 34  |       |

Los resultados obtenidos de la persistencia de ciertas malezas tolerantes y/o resistentes, y el incremento del uso de herbicidas para el control de nuevas malezas, demuestran claramente que el manejo de malezas resulta insuficiente cuando se tiene en cuenta un único método de control. El control químico es una estrategia de corto plazo, circunscrita solo a eliminar las malezas para disminuir la competencia estacional que ejercen sobre los cultivos. Para preservar el medio ambiente y ayudar a retrasar la aparición de malezas resistentes a herbicidas, es necesario implementar estrategias de manejo integrado sustentadas en el conocimiento del comportamiento ecológico de la dinámica de las malezas, que incluyan, además de rotaciones diversificadas de cultivos de invierno y de pasturas, el mejoramiento de otras prácticas agronómicas como el uso de la habilidad competitiva de los cultivares, época de siembra, cultivos de cobertura, manejo de los sistemas de labranzas, control biológico etc.

## Bibliografía

- ANDERSON R. L., BOWMAN R. A., NIELSEN D. C., VIGIL M. F., AIKEN R. M., BENJAMIN J. D. Alternative crop rotations for the central great plains J. Prod. Agric., (1999 (12), pp. 95–99
- ACCIARESI, H., SARANDON, S. 2002. Manejo de malezas en la agricultura sustentable. En: Agroecología. Sarandón, S. (Ed.). E.C.A. Ediciones Científicas Americanas. p. 331-362
- BELLINDER R. R., H. R. DILLARD, D. A. SHAH. (2004) Weed seedbank community responses to crop rotation schemes. *Crop Prot.* 23 (2), 95-101.
- BENTLEY, R. E. (1990). Managing grass weeds in a rotational cropping system. Proceedings of the Ninth Australian Weeds Conference, Adelaide, pp. 243-5.
- CHAUVEL B., J. P. GUILLEMIN, N. COLBACH, J. GASQUEZ. 2001. Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant populations of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Prot.* 20 (2), 127-137.
- DOUCET C., WEAVER S. E., HAMILL A. S., ZHANG J. H. 1999. Separating the effects of crop rotation from weed management on weed density and diversity. *Weed Sci.* 47, 729–735.
- FERNANDEZ-QUINTANILLA C., NAVARRETE C. L., TORNER C. 1984. The influence of crop rotation on the population dynamics of *Avena sterilis* (L.) ssp. *Ludoviciana* Dur., in Central Spain. Proceedings of the Third European Weed Research Society Symposium on Weed Problems in the Mediterranean Area, pp. 9-16.
- GRAGLIA E., MELANDER B., JENSEN R.K. 2006. Mechanical and cultural strategies to control *Cirsium arvense* in organic arable cropping systems. *Weed Res.* 46 (4), 304-312.
- HARPER K. N., KIRKLAND K. J., BARON V. S., CLAYTON G. W. 2003. Early harvest barley (*Hordeum vulgare*) silage reduces wild oat (*Avena fatua*) densities under zero tillage *Weed Technol.* 2003 (17), pp. 102–110.
- HEAP, I. 2012. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. [www.weedscience.com](http://www.weedscience.com). Consultado 24 Set. 2012
- HUME L. 1982. The long-term effects of fertilizer application and three rotations on weed communities in wheat (after 2 1-22 years at Indian Head, Saskatchewan). *Canadian Journal of Plant Science* 62:741-750.
- ISTILART C.; YANNICCARI M. 2011. Análisis de la evolución de las malezas en cereales de invierno durante 27 años en la zona sur de la pampa húmeda argentina. Actas Congreso, XX Congreso ALAM, Viña Del Mar, Chile. 1 (487:486)
- JENKINSON R. H. 1976. A planned approach to wild oat and grass weed control, integrating herbicides with cultural methods on a large cereal and grass farm. Proceedings of the British Crop Protection Conference, pp. 857-64.
- LIEBMAN M., DYCK E. 1993. Crop-Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management, *Ecol. Appl.* 3, 92–122.
- LIEBMAN, M., DAVIS A. S. 2000. Integration of soil, crop, and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research* 40:27–47
- MORTIMER A. M. 1990. The biology of weeds. Pages 1-43 in R. J. Hance and K. Holly. editors. *Weed control handbook: principles*. Eighth edition. Blackwell Scientific, Oxford. England
- MURPHY S. D.; CLEMENTS D. R., BELAOUSSOFF S.; KEVAN P. G.; SWANTON, C. J. 2006. Promotion of weed species diversity and reduction of weed seedbanks with conservation tillage and crop rotation. *Weed Science*, 54, 69-77.
- O'DONOVAN, J. T., BLACKSHAW R. E., HARKER K.N., CLAYTON G. W., MOYER J. R., DOSDALL L. M., MAURICE D. C., TURKINGTON T. K. 2007. Integrated approaches to managing weeds in spring-sown crops in western Canada. *Crop Prot* 26:390–398.
- PHILPOTTS H. 1975. The control of wild oats in wheat by winter fallowing and summer cropping. *Weed Research* 15, 221-5.
- TUESCA D.; PURICELLI E. y PAPA J. C. 2001. A long-term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Research*, 41: 369–382.
- WILSON B. J., PHIPPS P. A. 1985. A long term experiment on tillage, rotation and herbicide use for the control of *A. fatua* in cereals. Proceedings of the 1985 British Crop Protection Conference, Weeds 2, 693–700

# PLAGAS: INSECTOS DE SUELO EN SIEMBRA DIRECTA. VARIACION CON LA SECUENCIA DE CULTIVOS

Ing. Agr. Horacio Forján, Ing. Agr. (MSc) Lucrecia Manso

Entre las consecuencias de adoptar el sistema de siembra directa (SD) numerosos trabajos mencionan el aumento de poblaciones de insectos de suelo (Aragón, 2004; Iannone, 2006), las cuales encontrarían un ambiente más favorable para multiplicarse (suelos compactos con rastrojos en superficie) sin ser afectadas por los laboreos y el posterior control biológico por aves.

Dentro de estos, los más nombrados como causantes potenciales de producir daños a los cultivos resultan ser los llamados gusanos blancos del suelo, aunque también se ha comprobado su efecto benéfico para el sistema, a partir del desarrollo de las larvas y la construcción de galerías, las cuales facilitan la aireación del suelo, la infiltración del agua y el reciclaje de nutrientes (Aragón, 2004).

Los gusanos blancos corresponden a un grupo de coleópteros de la familia Scarabaeidae, los cuales habitan en la tierra al estado larval produciendo daños durante este período, tomando la forma de escarabajos al estado adulto (Iannone, 2006).

Relevamientos realizados por este autor en el núcleo pampeano indicaron la existencia de un variado número de especies de gusanos blancos, encontrándose normalmente en mayor cantidad a *Diloboderus abderus*, *Philochloenia bonariensis* y *Cyclocephala signaticollis*. Su abundancia relativa dependió principalmente del sistema de siembra y la rotación.

Estudios realizados por INTA Pergamino en el norte de la provincia de Buenos Aires (Iannone, 2007), permitieron determinar que la cantidad de gusanos blancos se incrementó en una relación aproximada de 3 a 4 veces al pasar del sistema de labranza convencional a una SD de tres o más años, y a su vez, de ésta a las pasturas perennes. El número promedio de larvas de gusanos blancos (gb) en sistema convencional fue de 3 a 5 gb.m<sup>-2</sup>, en SD de 14 gb.m<sup>-2</sup>, y en pasturas de 50 gb.m<sup>-2</sup>.

De todas las especies del complejo de gusanos blancos, se destaca *Diloboderus abderus*, conocido vulgarmente como "bicho torito" o "bicho candado". Su presencia puede tener un alto impacto sobre la producción de los cultivos, mientras que las otras especies del complejo no llegan a producir un daño equivalente. Las larvas de *Diloboderus abderus* afectan fundamentalmente a especies gramíneas, como cultivos de trigo y maíz en SD y forrajeras perennes.

El ciclo de vida del bicho torito se cumple en el término de un año. Se encuentra presente en el suelo desde marzo como larvas del primer estadio, luego en abril aparecen las larvas del segundo estadio para así llegar en mayo-junio al tercer y último estadio larval, donde adquieren el máximo tamaño y se produce la mayor demanda de alimentos (daños al cultivo). Este estadio es el más largo y se extiende hasta fines de octubre, principios de noviembre, cuando se transforman en estado de prepupa y finalmente en adultos para emerger del suelo en diciembre (Boletín Bayer, 2010).

En la región, en los primeros estadios de un cultivo de trigo, los daños no resultan importantes debido a que las bajas temperaturas que ocurren en pleno invierno obligan a las larvas a profundizar en el suelo. A partir de encañazón y principalmente en espigazón del cultivo, podrían presentarse los daños más graves, ya que la actividad de las larvas aumenta con la temperatura del suelo.

Las larvas de *Diloboderus* inicialmente pueden dañar semillas o alimentarse de material vegetal ubicado cerca de su lugar de nacimiento (consumen raíces, tallos y hojas). A medida que las larvas crecen, las galerías alcanzan mayor diámetro (15-20 mm) y profundidad, llegando generalmente a los 20-30 cm.

## Monitoreo e identificación

Resulta importante en el sistema de SD tener el conocimiento sobre la presencia de gusanos blancos en el lote. El muestreo, identificación y posterior cuantificación de las especies encontradas en un monitoreo, es un dato importante para tomar la determinación de proteger al cultivo con terapéuticos insecticidas de semilla. Métodos posteriores tienen baja efectividad y alto impacto ambiental, sobre todo en siembras tempranas, donde las temperaturas de suelo y del ambiente son lo suficientemente bajas como para retrasar la emergencia y el crecimiento del cultivo, condiciones éstas donde se manifiestan los mayores daños por este tipo de plagas.

Tomando como referencia el Ensayo n° 3 de rotaciones de la CEI Barrow, luego de 12 años bajo el sistema de SD y donde en la campaña 2009 todas las situaciones fueron sembradas con trigo (final del 2° ciclo), se realizó un muestreo en el mes de julio previo a su siembra, a los efectos de determinar posibles variaciones en la presencia de gusanos blancos por efecto de los diferentes cultivos empleados previamente.

Se realizaron muestreos superficiales de 0,25 m<sup>2</sup> raspando con pala, para determinar la existencia de perforaciones en el suelo efectuadas por los gusanos, lo cual permitió, con un posterior muestreo en profundidad en cada galería, confirmar la especie presente. La identificación se realizó consultando la clave confeccionada por el Ing. Jorge Frana de INTA Rafaela.

Conociendo que *Diloboderus abderus* es la especie más perjudicial por su frecuencia, abundancia y voracidad del último estadio larval, y que es común encontrar otras especies de gusanos blancos de menor impacto agronómico y otros tipos de insectos de suelo, como los gusanos alambres, pantomorus, etc., en los últimos años se ha creado una equivalencia, definida como Índice DILAB donde se estima el daño de otras especies en relación a un valor 1 para *Diloboderus abderus* (Bayer, 2010).

Se estima que el daño de 1 *Diloboderus* equivale al daño de:

6 *Cyclocephala* sp., *Anomala* sp., o *Philochloenia* sp., 3 *Pantomorus leucoloma* (gusano arroz), 1 gusano alambre (*Conoderus* spp., *Discynetus gagates*, *Agriotes* spp.)

Tabla 7.6- Recuentos de insectos (individuos.m<sup>-2</sup>) previo a la siembra de trigo

| Secuencia | <i>Diloboderus abderus</i> | <i>Cyclocephala sp.</i> | <i>Philochloenia sp.</i> | <i>Pantomorus sp.</i> | Gusanos alambre | INDICE DILAB |
|-----------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|--------------|
| 1         | 1,0                        | 6,0                     | 4,5                      | 0,0                   | 1,0             | 3,75 bc      |
| 2         | 2,5                        | 6,5                     | 6,5                      | 2,0                   | 1,0             | 6,33 a       |
| 3         | 1,0                        | 9,0                     | 5,0                      | 0,0                   | 1,0             | 4,33 b       |
| 4         | 1,0                        | 8,0                     | 6,5                      | 1,5                   | 1,0             | 4,92 ab      |
| 5         | 0,5                        | 6,0                     | 3,0                      | 0,5                   | 0,5             | 2,67 c       |

DMS: 1,43. Fuente: Ensayo de rotaciones en SD. 2009. CEI Barrow

La información disponible hasta el momento indica que, la cantidad de larvas presentes de bicho torito que justifican el control es de 4 gb.m<sup>-2</sup> para maíz y 5 a 6 gb.m<sup>-2</sup> para trigo (Aragón, 2004; Iannone, 2006). Considerando este valor, los tratamientos evaluados en el ensayo presentaron en general, una baja presencia de *Diloboderus*.

El mayor número de individuos se dio con otros gusanos blancos, como *Cyclocephala sp.* y *Philochloenia sp.* Aunque estas especies presentan un menor impacto en comparación con *Diloboderus*, la cantidad de individuos presentados incidió sobre el índice DILAB, lo que permitió orientar sobre la real situación de cada tratamiento. Las situaciones con mayor índice correspondieron a los dos sistemas mixtos (2=rotación con pasturas y 4= rotación con verdes de invierno), resultando con menor índice el tratamiento 1 (secuencia conservacionista= 1 cultivo por año) y el tratamiento 5 (agricultura intensa= 20 cultivos en 12 años). En la zona núcleo, estudios realizados por Iannone (2007) señalan que según las rotaciones de cultivos en SD, la población de gusanos blancos disminuyó el 33% cuando el antecesor fue soja en comparación con maíz (11 gb.m<sup>-2</sup> y 16,3 gb.m<sup>-2</sup>, respectivamente). En nuestro caso, todas las situaciones presentaron como antecesor inmediato soja y en el caso específico del tratamiento 5, en nueve de los doce años evaluados el cultivo de soja estuvo presente como cultivo de primera o de segunda.

En cuanto al índice DILAB, distintos estudios han determinado que el umbral de acción para trigo es de 4-5, para maíz 2-3 y para girasol 2-3 DILAB.m<sup>-2</sup>.

También es importante destacar que en el sistema de SD, el control biológico de estos gusanos cumple un papel muy importante. Existe una gran diversidad de enemigos naturales que adquieren un rol fundamental en el equilibrio de las poblaciones de estos insectos. Los enemigos naturales, como la misma plaga, sufren fluctuaciones en el tiempo debidas, en general, a variaciones ambientales. Investigaciones recientes sobre el control biológico han permitido identificar una importante diversidad de enemigos naturales de *Diloboderus abderus* en la región pampeana. Estos incluyen entre otros a hongos patógenos, avispas parásitas y larvas de moscas predatoras (Aragón, 2004).

#### Bibliografía:

- ARAGON J., 2004. Control del gusano blanco en trigo. Trigo: Actualización 2004. Información para Extensión N°85. EEA INTA Marcos Juárez,  
 BAYDIR News. Boletín digital Bayer. Gusanos de suelo.Actualidad técnica 2010. cropscience.bayer.com.ar /novedades/detalle.php?contentID=23 - 52k -  
 FRANA J., adaptado de Alvarado L. 1980. Clave para la identificación de larvas de Scarabaeidae que habitan el suelo de la región centro de Santa Fe. INTA Rafaela. [http://rafaela.inta.gov.ar/publicaciones/clave\\_gusano\\_blanco.pdf](http://rafaela.inta.gov.ar/publicaciones/clave_gusano_blanco.pdf)  
 IANNONE N. 2006. 2º Encuentro Nacional de Monitoreo y Control de Plagas. Córdoba, República Argentina.  
 IANNONE N., 2007. Manejo de gusanos blancos en el cultivo de trigo. Servicio técnico de alerta sobre plagas. EEA INTA Pergamino.

## ENFERMEDADES DE LOS CULTIVOS: PIETIN DE LOS CEREALES

Ing. Agr. Stella Prioletta; Ing. Agr. Horacio Forján

La enfermedad es causada por el hongo *Gaeumannomyces graminis var. tritici*, y se la conoce como “pietín, mal del pie, o podredumbre de la vaina del cuello”, afectando algunos cereales de invierno, particularmente trigo, cebada, centeno y triticale.

Estos dos últimos son más resistentes a la enfermedad que trigo y cebada, sin embargo ninguno de los dos cereales proveen una buena protección cuando se los usa como antecesores de trigo en lotes con pietín.

En la región resulta un patógeno de importancia, donde su presencia se acentúa en cultivos de trigo que siguen a un cereal susceptible en la rotación. La enfermedad se manifiesta con máxima intensidad sobre monocultivo de trigo, siembra directa o rastrojos de cereales de lenta descomposición. Su presencia está relacionada a suelos húmedos, compactados, de pH elevado y bajo contenido de nitrógeno y fósforo (Formento, 1999; Carmona, 2001; INTA Rian, 2005).

*G. graminis* forma ascosporas que tienen poca importancia en la epidemiología de la enfermedad, ya que la diseminación es fundamentalmente de planta a planta a través de las hifas que el hongo desarrolla en el suelo, haciendo “puentes” entre raíces enfermas, pasando así de plantas infectadas o restos de rastrojos del cultivo antecesor (dónde subsiste como saprófito) a un hospedero cercano susceptible.

Este patógeno tiene baja habilidad de competición saprófita. Los tejidos más importantes para su sobrevivencia son las coronas de las plantas cultivadas infectadas y fragmentos de raíces infectadas, dónde se forman los peritecios que constituyen su principal fuente de inóculo.

Cuando el micelio entra en contacto con las raíces de las plantas de trigo, el patógeno se disemina sobre su superficie, desintegrando el xilema y floema, y avanzando sobre la raíz principal y la base del tallo. Los primeros síntomas surgen a los 7-10 días después de iniciada la penetración. La colonización en los tejidos determina una interferencia en la absorción y transporte de agua y nutrientes. Luego de colonizar los tejidos, *G. graminis* forma peritecios, los que sobrevivirán junto con el micelio, una vez cosechado el cultivo, en los rastrojos o en las gramíneas nativas como *Cynodon*, *Festuca*, *Bromus*, *Lolium*, *Dactylis*, *Poa*, *Hordeum*, *Agropyron*, *Echinochloa* (Pérez Fernández; Corro Molas, 2001).

La enfermedad se ve favorecida por precipitaciones abundantes y temperaturas de suelo de 12 a 20°C. Lotes con deficiencia de nitrógeno y fósforo son altamente susceptibles al pietín, porque las plantas difícilmente reemplacen las raíces destruidas por el patógeno (INTA Rian, 2005).

### *Síntomas y signos*

*G. graminis* puede atacar en cualquier estado de crecimiento. Generalmente se visualizan manchones circulares o irregulares diseminados de manera desuniforme en el cultivo.

En plantas jóvenes, los síntomas iniciales en el follaje son similares a una deficiencia de nutrientes, y pueden ser diagnosticados erróneamente como deficiencia de nitrógeno. Infecciones tempranas reducen la formación de macollos o provocan la muerte de los ya formados, disminuyendo así el número de espigas fértiles por superficie. Si el ataque es muy severo, puede causar enanismo. Pero los síntomas son más evidentes y comunes de observar en la etapa de floración (atraso de la misma). En la época de espigazón pueden visualizarse manchones de plantas muertas con coloración blanca. Cuando estas plantas son arrancadas, las raíces no ofrecen resistencia y el sistema radical se encuentra total o parcialmente destruido. Cuando se lavan las raíces, puede observarse en las mismas una pudrición, donde se evidencia la presencia de costras de color negro brillante (síntoma diagnóstico), constituidas por el micelio del hongo, que se extienden hasta el primer nudo de la planta.

El número de granos por espiga raras veces se reduce; al contrario, a veces se puede notar un leve incremento, como efecto compensatorio. En cambio, el peso de mil granos casi siempre está reducido en forma notable (grano chuzo) con la consiguiente disminución del peso hectolítrico.

Si las infecciones ocurren tarde en primavera, tiene poca incidencia sobre la altura de planta y el número de macollos, pero puede causar un deficiente llenado de los granos y espigas blancas que maduran en forma prematura, porque la falta de raíces provoca un estrés hídrico en la planta que impide el paso de nitrógeno y otros nutrientes desde el suelo.

Cuando los síntomas se hacen obvios y los manchones cubren una porción importante del lote, las pérdidas pueden estar en el orden del 20 al 40 % (Reis, Elei Melo, 1986; Formento, 1999; Carmona, 2001; Pérez Fernández; Corro Molas, 2001; Annone, J., 2005; Kierhr; Delehey, comunicación personal).

### *Control de la enfermedad*

Varios factores, incluidas prácticas culturales, condiciones de suelo, ambientales y de patogenicidad del hongo se han mencionado para explicar las diferentes variaciones de severidad de la enfermedad en lotes de trigo. No existe resistencia genética al pietín. Sin embargo, dado que el hongo causante es poco competitivo, las rotaciones de cultivos ofrecen el método más efectivo para controlar la enfermedad (Cook, 1981; Pérez Fernández; Corro Molas, 2001). Cuando se incluye un cultivo no susceptible a una determinada enfermedad, se reduce el inóculo presente en el suelo por carencia de alimento o deterioro natural. Esto fue comprobado a través de los años bajo estudio de los ensayos de rotaciones de la CEI Barrow, donde la enfermedad no tuvo presencia en ninguna de las secuencias implementadas que respetaron rotaciones con cultivos de diferentes especies, ciclos, etc., evitando la repetitividad de los mismos.

Los cultivos de hoja ancha (dicotiledóneas) se consideran inmunes al patógeno y las rotaciones con estos cultivos disminuyen el riesgo de ataque, siempre y cuando no existan gramíneas malezas en el lote, donde el parásito pueda sobrevivir y multiplicarse. Si introducimos trigo en este sistema, probablemente se verá afectado por el pietín y será mayor el ataque si el cultivo antecesor es trigo, cebada, centeno, o alguna pastura perenne que esté compuesta por una gramínea susceptible.

La utilización del cultivo de avena como antecesor, se presenta como la única alternativa en las rotaciones con cereales de invierno, ya que ha presentado resultados altamente satisfactorios en el control de la enfermedad, (Pérez Fernández; Corro Molas, 2001). El cultivo produce una saponina (avenacina) que cambia la microflora del suelo, controlando el desarrollo del hongo (North Carolina State University, Dept. of Plant Pathology).

### *Monocultivo de trigo*

La repetición de un cereal susceptible en el mismo lote, aumenta la incidencia y severidad de pietín. El tratamiento de monocultivo de trigo que se mantiene desde el inicio de los ensayos de rotaciones de la CEI Barrow, permitió efectuar un seguimiento de la susceptibilidad a la enfermedad y la evolución de su severidad en el tiempo.



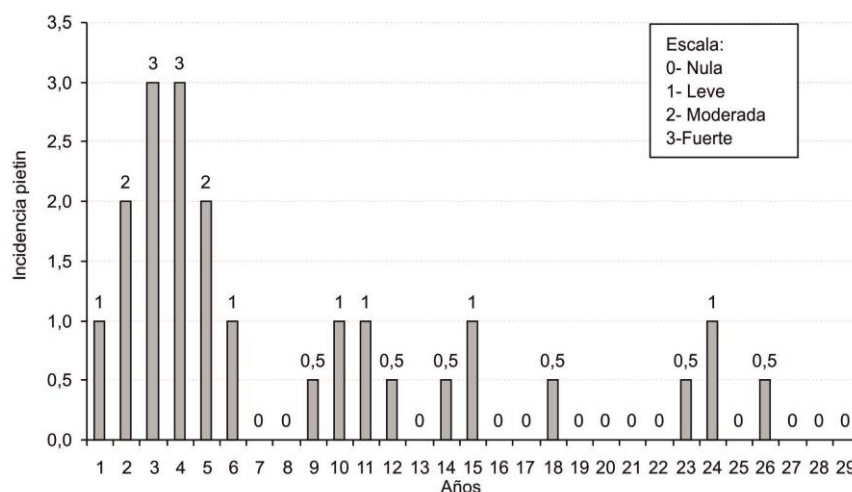


Figura 7.3: Presencia y rango de severidad de *Gaeumannomyces graminis* var. *Tritici* durante 29 años de monocultivo de trigo. Fuente: Ensayo de rotaciones con labranzas CEI Barrow.

La enfermedad se presentó desde el primer año (antecesor trigo) y su presencia se mantuvo continua hasta el año 6, pero fue muy marcado el aumento de la severidad hasta el año 4, luego del cual la intensidad del ataque comenzó a disminuir. En los años sucesivos, la presencia no superó el rango de leve (1) coincidiendo su aparición con las condiciones ambientales ocurridas en cada campaña que favorecieron la ocurrencia de la enfermedad.

Este fenómeno de disminución de la intensidad de la enfermedad ("take all decline") ha sido reportado por varios trabajos (Cook; Baker,1983; Garveba et al.,2004; Bailey et al. 2009; Andrade et al.,2011), quienes atribuyen ese efecto al aumento de microorganismos antagonistas de *Gaeumannomyces graminis*, en particular *Pseudomonas fluorescens*, que ocupan sitios en la rizosfera esenciales para la infección y secuestran el hierro impidiendo que esté disponible para el hongo, por lo cual, este se ve impedido de desarrollar los sideroforos (molécula soluble que capta hierro). Estas bacterias se utilizan en los ensayos de control biológico de pietin.

Resumiendo, la rotación de cultivos cumple un papel esencial en controlar y reducir la incidencia de enfermedades. El empleo de cultivos no susceptibles y un buen manejo del barbecho, permite cortar el ciclo de muchas enfermedades al reducir el inóculo presente en el suelo por carencia de alimento (planta hospedante susceptible), depredación o deterioro natural.

### Bibliografía:

- ANDRADE O., CAMPILLO R., PEYRELONGUE A., BARRIENTOS L. 2011. Suelos supresivos a *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, identificados en monocultivos de trigo, en el sur de Chile . *Cienc. Inv. Agr.* vol.38 no.3. (345-356).Santiago de Chile.
- ANNONE, J. G. 2005. Simposio de enfermedades de soja, girasol, maíz y trigo en sistemas sustentables. In: Libro de Resúmenes. XIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología y III Taller de la Asociación Argentina de Fitopatología. 10-22 de abril de 2005. Villa Carlos Paz, Córdoba. p. 161-164.
- BAILEY D. J., PAVELEY N., SPINK J., LUCAS P., GILLIGAN C. A. 2009. Epidemiological analysis of take-all decline in winter wheat. *Ecology and Epidemiology. Phytopathology* 99:861-868.
- CARMONA M. 2001. Guía práctica de enfermedades de Trigo. Syngenta. Página/s: 28. ISBN: 950-43-3783-4. Hospedero: Trigo - Referencia: 103.
- COOK R. J, 1981. The Influence of Rotation Crops on Take-All Decline Phenomenon. *Ecology and Epidemiology. Phytopathology* Vol. 71, No. 2, 1981.
- COOK R. J., BAKER K. F. 1983. The nature and practice of the biological control of plant pathogens. American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, USA. 539 pp.
- FORMENTO, N. 1999. Manejo Integrado de enfermedades del trigo en sistemas convencionales, siembra directa y de alta producción. SAGPyA-EEA INTA Paraná- Serie Extensión N° 17. 117 pp.
- GARVEBA P., VAN VEEN A., ELSAS J. D. 2004. Microbial diversity in soils: selection of microbial populations by plant and soil type and implication for disease suppressiveness. *Annu Rev Phytopathol.* 42:243-270. INTA. RIAN. 2005. Manual de trigo. [Link rian.inta.gov.ar/agronomia/Manual\\_Trigo.pdf](http://www.rian.inta.gov.ar/agronomia/Manual_Trigo.pdf)
- NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY, Dept. of Plant Pathology - *Gaeumannomyces graminis* – The Take-all Fungus Heather Anne Bartone PP 728: Soilborne Plant Pathogens project [http://www.cals.ncsu.edu/course/pp728/Gaeumannomyces/Gaeumannomyces\\_graminis.htm](http://www.cals.ncsu.edu/course/pp728/Gaeumannomyces/Gaeumannomyces_graminis.htm)
- REIS, E. M. 1986. Doenças do trigo, mal do pé. Passo Fundo, APALSSUL, 32 p.
- PEREZ FERNANDEZ J., CORRO MOLAS A. 2001. Efecto del pietin de los cereales (*Gaeumannomyces graminis*) sobre el rendimiento de trigo. Resumen V Congreso Nacional de trigo y cereales. Septiembre, Carlos Paz, Córdoba, Argentina.

# Capítulo 8- La flora y fauna edáficas

*Caracterización de suelos mediante el uso de variables biológicas. Comunidad fúngica del suelo. Respuesta a diferentes manejos agrícolas. Actividad enzimática y respiratoria de un suelo. Su uso como potenciales bioindicadores de calidad de suelos. Impacto de diferentes secuencias de cultivos sobre la macro y mesofauna del suelo.*

## Introducción

El suelo contiene una gran variedad de macro y microorganismos cuyo funcionamiento está influenciado fuertemente por la temperatura. En áreas templadas, como la región que nos ocupa, donde existe una gran diferencia entre las temperaturas altas del verano y las bajas del invierno, la actividad de los organismos del suelo es más reducida en esta última estación.

Los diferentes grupos de organismos del suelo pueden ser clasificados de acuerdo a Brechelt (2004) en:

- Flora
  - Macroflora = raíces y residuos de plantas superiores
  - Microflora = bacterias, hongos, actinomycetes, algas
- Fauna
  - Macrofauna = lombrices, milpies, caracoles y babosas, etc.
  - Mesofauna = Insectos, arañas, ácaros, etc.
  - Microfauna = nematodos, protozoos, etc.

La población biológica se divide proporcionalmente en 80% flora y 20% fauna. Dentro de la flora se destacan hongos y algas 40%, bacterias y actinomycetes 40%, mientras que la fauna está compuesta por lombrices 12%, macrofauna 5%, mesofauna y microfauna 3%.

Los microorganismos del suelo (biota), usan los residuos de plantas y animales y los derivados de la materia orgánica (MO) como alimento. Mientras más alta sea la producción de biomasa del cultivo (y su posterior aporte de rastrojos), mayor será la población microbiana del suelo.

Los sistemas de producción agrícola en los cuales los residuos son dejados sobre la superficie, como en siembra directa o mediante el uso de cultivos de cobertura, estimulan el desarrollo y la actividad biológica (Moreno et al., 2011; Nesci et al., 2006). Los productos de desecho resultantes, contribuyen a la formación de la MO del suelo.

Por otro lado, los microorganismos también descomponen la MO. En este proceso, interactúan directamente en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre y otros), liberándolos dentro del suelo en formas que pueden ser usadas por las plantas (disponibilidad de nutrientes) (Figura 8.1).

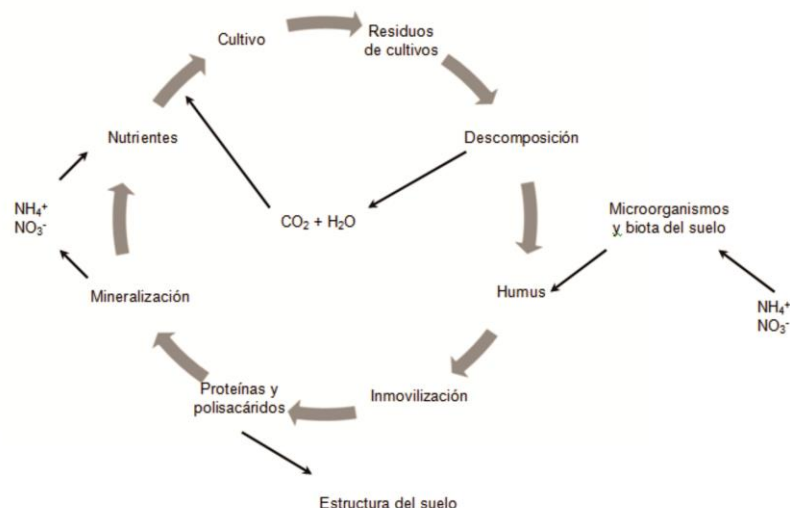


Figura 8.1: Ciclo del carbono mostrando la absorción de nitrógeno y su liberación por los microorganismos. Fuente: FAO: Documento Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible.

Los microorganismos presentes en el suelo responden de manera integrada y sensible a los cambios producidos en el ambiente por los distintos manejos aplicados (Turco et al., 1994). La función más importante es aquella acción combinada de hongos, actinomycetes, bacterias e individuos pertenecientes a la mesofauna, que transforman los residuos en humus.

Por esta razón, se entendió la necesidad de analizar la actividad biológica de los suelos bajo estudio como componentes específicos del agroecosistema, buscando entender el impacto de los distintos manejos sobre la calidad del suelo y la sustentabilidad de las prácticas agronómicas.

## Bibliografía

- BRECHELT, A. 2004. Manejo ecológico del suelo. 1ª Ed. Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América latina. Chile.
- FAO. 1996. Documento: Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. Materia orgánica y actividad biológica. En: [www.fao.org/ag/ca](http://www.fao.org/ag/ca).
- MORENO M. V.; SILVESTRO L. B.; FORJAN H.; MANSO L.; BERON C.; ARAMBARRI A. M. 2011. Ocurrencia de especies fúngicas en un suelo del centro- sur bonaerense: respuesta a diferentes manejos agrícolas. XII Congreso Argentino de Micología, Posadas, Misiones, Argentina.
- NESCI A.; BARROS G.; CASTILLO C.; ETCHEVERRY M. 2006: Soil fungal population in preharvest maize ecosystem in different tillage practices in Argentina. *Soil & Tillage Research*, 91:143-149.
- TURCO, R. F.; KENNEDY A. C.; JAWSON M. D. 1994. Microbial indicators of soil quality. In: Doran, J.W. (Ed.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science of Society of America, Special Publication 35, Madison, WI. pp. 73-90.

## COMUNIDADES BIOLÓGICAS Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO ASOCIADAS A LA SIEMBRA DIRECTA EN EL SUDESTE BONAERENSE

*Prof. Univ. Luciana Silvestro<sup>1,2</sup>, Dra. M. Virginia Moreno<sup>1,6</sup>, Ing. Agr. Horacio Forján<sup>3</sup>, Ing. Agr.(Mg.Sc.) Ada Albanesi<sup>4</sup>, Dra. Cs. Nat. A. M. Arambarrí<sup>5</sup>, Lic. I. Dinolfo<sup>1,2</sup>, Dr. Cs. Agr. S. A. Stenglein<sup>1,6</sup>, Ing. Agr.(MSc) Lucrecia Manso<sup>3</sup>, Ing. Agr. F. Bongiorno<sup>7</sup>.*

En la última década, los principales países productores de cereales aumentaron en forma significativa su productividad, mediante la aplicación de tecnologías que combinan fundamentalmente nuevos desarrollos genéticos con ajustes más precisos en el manejo de los cultivos. Los efectos del desarrollo y adopción de tales tecnologías han sido particularmente notables en la Argentina. El aumento de las prácticas como siembra directa (SD), fertilización, intensificación del uso de micronutrientes, riego y aplicación de reguladores de crecimiento generan cultivos con expectativas de altos rindes. La utilización de manejos altamente tecnificados se ha reflejado en una mejora significativa en los niveles de producción de los cultivos que se practican extensivamente; sin embargo, se ha evidenciado un deterioro de los suelos en sus propiedades físicas y químicas. No es menos importante, el impacto en las propiedades biológicas del suelo, relacionadas con el desarrollo de la biomasa de organismos y sus actividades (Campos, 1999).

El sistema de SD produce cambios cuali y cuantitativos a nivel de suelo, puesto que la cobertura con rastrojos y la no remoción del suelo generan un hábitat con condiciones de humedad y temperatura respondiendo a la necesidad de mantener y/o mejorar la calidad de los recursos naturales en el proceso productivo agrícola (Shukla et al., 2003). Su adopción generalizada en la región bajo estudio, ha permitido mejorar el aprovechamiento del agua, proteger contra la erosión, aumentar el contenido de materia orgánica (MO), y favorecer la actividad biológica en el suelo, entre otras ventajas (Alvear, 2006).

En gran parte de las regiones con agricultura templada se proyecta una expansión importante del área de cultivo bajo SD, lo cual, dará continuidad al proceso de intensificación, preservando el recurso suelo y permitiendo expandir las posibilidades de cultivo en otras regiones o ecosistemas frágiles. Esta sucesión de factores provocará una serie de adaptaciones entre los grupos fúngicos competitivos, o no, que se manifiestan en efectos diversos y que a nivel ecológico revisten especial importancia (Krupinsky et al., 2002).

### Actividad biológica del suelo

Muchas de las reacciones bioquímicas, involucradas en el ciclado y disponibilidad de nutrientes y en la transformación de la MO, son catalizadas por enzimas. Es conocido que la mayor parte de estas enzimas derivan de los microorganismos. Se han encontrado correlaciones entre la actividad microbiana del suelo y los niveles de actividad enzimática (Alvear et al., 2006), por lo que pueden ser utilizadas como indicadoras de alteraciones de la dinámica microbiana del suelo, debido a que son los microorganismos los que ejercen una gran influencia en numerosas

<sup>1</sup> Laboratorio de Biología Funcional y Biotecnología (BIOLAB-CEBB-CONICET), Fac. de Agronomía (FAA), Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA).

<sup>2</sup> Becaria Doctoral ANPCyT

<sup>3</sup> Chacra Experimental Integrada Barrow, (Convenio MAA Bs.As. – INTA). Tres Arroyos

<sup>4</sup> Cátedra de Microbiología Agrícola, Facultad de Agronomía y A Universidad Nacional de Santiago del Estero

<sup>5</sup> Instituto Spegazzini. Facultad Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata

<sup>6</sup> Microbiología Agrícola, FAA, UNCPBA

<sup>7</sup> Estadística, FAA, UNCPBA

reacciones de los ciclos del carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y otros elementos. La actividad metabólica es la responsable de procesos como la mineralización y humificación de la MO, así como de las transformaciones donde se involucra a la propia biomasa microbiana del suelo. La actividad biológica del suelo es factible de ser medida indirectamente a través de la respiración basal del suelo (RB), actividades enzimáticas y actividad metabólica. En nuestro proyecto hemos propuesto evaluar la RB y las enzimas deshidrogenasa (Dh), ureasa (Ur) y fosfatasa (Ph).

Las enzimas del suelo tienen un rol fundamental en todos los procesos de la descomposición de la MO en el suelo (Sinsabaugh et al., 2000). Generalmente, las actividades enzimáticas declinan con la profundidad y están estrechamente relacionadas con la actividad microbiana del suelo y la disponibilidad de C y N en el mismo. El análisis de la varianza para el CO mostró diferencias significativas entre las profundidades (Tabla 8.1).

Tabla 8.1- Efecto de las diferentes secuencias de cultivo, época y profundidad de muestreo, sobre diferentes parámetros biológicos del suelo.

| Fuente de Variación | p-value                     |  |   |  |   |
|---------------------|-----------------------------|--|---|--|---|
|                     | CO<br>(g.kg <sup>-1</sup> ) | Respiración<br>(µg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> ) | Deshidrogenasa<br>(µg TPF g <sup>-1</sup> ) | Fosfatasa<br>(µg PNF g <sup>-1</sup> ) | Ureásica<br>(µg NH <sub>3</sub> g <sup>-1</sup> ) |
| Fecha (F)           | 0,9389                      | <0,0001  | 0,0003                                      | <0,0001                                | <0,0001   |
| Bloque              | 0,0052                      | 0,0059   | 0,8399                                      | 0,1736                                 | 0,1148  |
| Profundidad (P)     | <0,0001                     | 0,0007   | <0,0001                                     | 0,2234                                 | <0,0001   |
| Secuencia (S)       | 0,2469                      | 0,4915   | <0,0001                                     | <0,0001                                | <0,0001   |
| F*P                 | 0,9594                      | 0,9717   | 0,0002                                      | 0,3087                                 | <0,0001   |
| F*S                 | 0,1072                      | 0,7135   | <0,0001                                     | <0,0001                                | <0,0001   |
| P*S                 | 0,9013                      | 0,4520   | 0,0006                                      | <0,0001                                | 0,0009  |
| F*P*S               |                             | 0,4222   | 0,0063                                      | <0,0001                                | <0,0001   |

ns: no significativo; \*\*\* F value significant at P < 0.05

Secuencia: I: Agrícola conservacionista: Trigo-Girasol-Sorgo granífero; II: Mixto con pasturas sin verdes: Trigo-Sorgo-Soja-Colza; III: Agrícola de invierno para suelos limitados: Trigo-Colza-Cebada-Soja 2ª; IV: Mixto tradicional con verdes: Trigo-Avena/Vicia-Girasol; V: Agrícola intenso: Trigo-Cebada-Colza-Soja 1ª y 2ª.

Profundidad: a: 0-5 cm, b: 5-10 cm; c: 10-20 cm

Fecha: Diciembre 2009, Abril 2010, Agosto 2010

Se observó una distribución diferente de la MO en función de la profundidad de muestreo (Figura 8.2a); similares resultados fueron observados por Alvear et al.,(2006). Esto se puede atribuir a que la no remoción del suelo en el sistema de SD origina la estratificación de la MO, como resultado de la falta de incorporación de los residuos y debido a que no se altera el ordenamiento natural de los componentes sólidos del suelo (Quiroga et al., 1998).

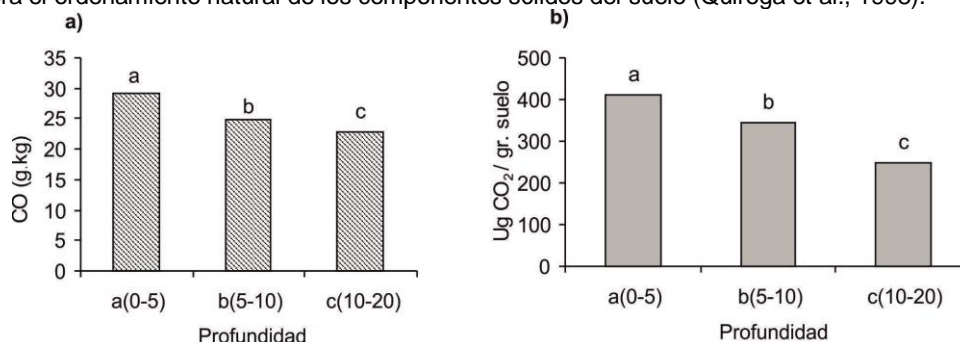


Figura 8.2: Efecto de la profundidad a): sobre el contenido del carbono oxidable (CO) y b): Respiración basal (RB) del suelo. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas al  $p=0,05$

La actividad biológica (RB) reflejó diferencias significativas entre las profundidades y la fecha de muestreo (Tabla 8.1). La mayor actividad biológica se observó para los primeros cinco centímetros del suelo (a) (Figura 8.2b). Tal situación se adjudicó a que la actividad microbiana se concentra en los 5 cm superiores del suelo donde existe el mayor contenido de residuos, por lo que la mayor acumulación de MO en el suelo incrementa la biomasa microbiana (Jenkinson; Ladd, 1981).

Las actividades fosfatasa y deshidrogenasa (Figuras 8.3 a, c) presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las profundidades, los tratamientos y entre las interacciones dobles y triples correspondientes; de la misma manera, la actividad ureásica, excepto entre profundidades (Figura 8.3 b). La significancia para las interacciones triples indica la alta sensibilidad de estas actividades a los cambios introducidos en el ambiente suelo. Como era esperable son propiedades biológicas del suelo muy dinámicas, por lo que tienen la ventaja de servir de señales tempranas de degradación o de mejoría de los suelos (Bandick ;Dick, 1999), no pudiendo individualizar de esta manera los efectos propios de cada tipo de rotación de cultivos, profundidad y época de muestreo (Figura 8.3 a, b, c).

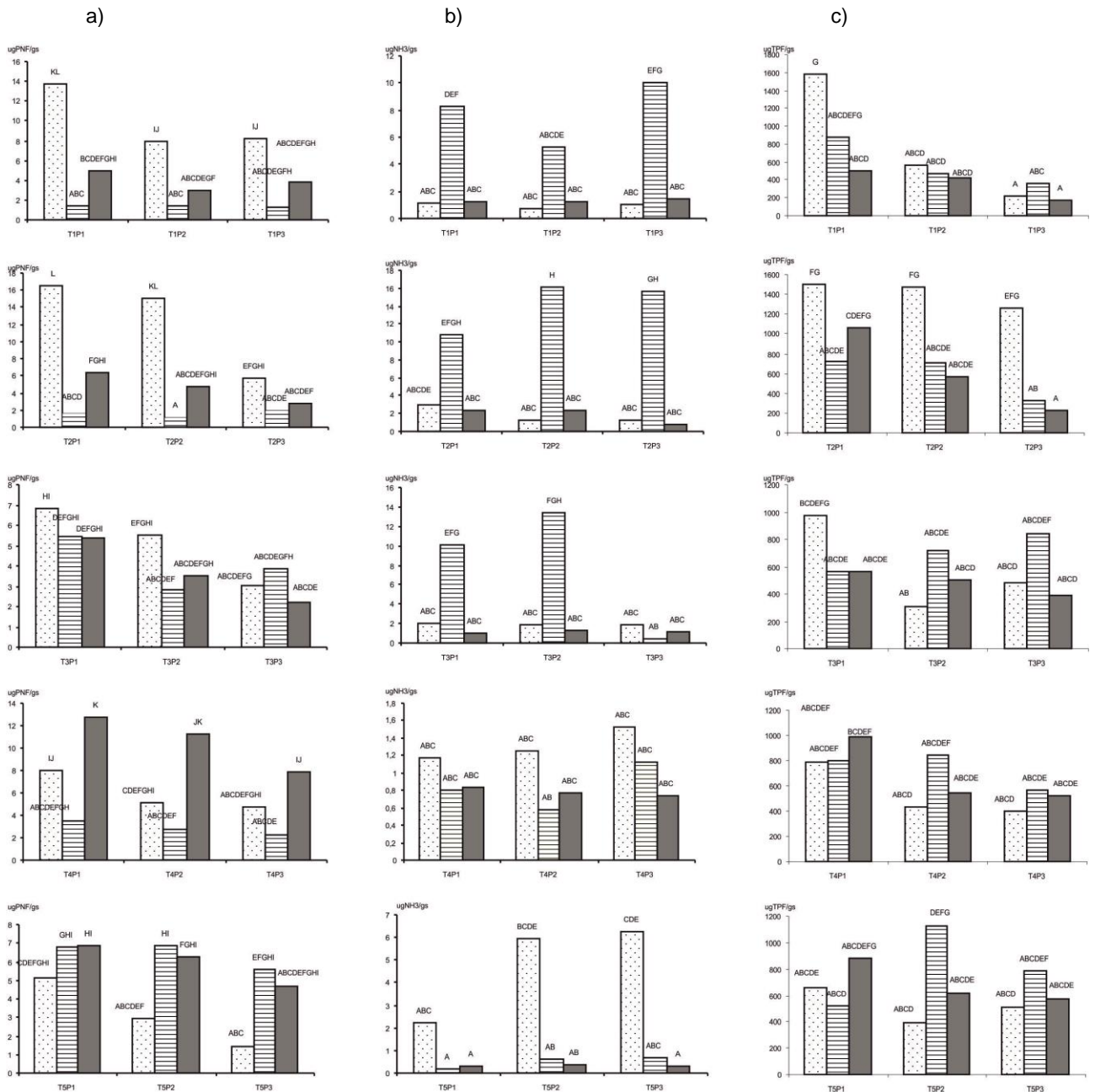


Figura 8.3- Efecto de la fecha, profundidad de muestreo y tratamiento sobre, a) actividad fosfatasa b) actividad ureásica y c) actividad deshidrogenasa.

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas al  $p=0,05$

Tratamientos: T1: Agrícola conservacionista: Trigo-Girasol-Sorgo granífero; T2: Mixto con pasturas sin verdes: Trigo-Sorgo-Soja-Colza; T3: Agrícola de invierno para suelos limitados: Trigo-Colza-Cebada-Soja 2ª; T4: Mixto tradicional con verdes: Trigo-Avena/Vicia-Girasol; T5: Agrícola intenso: Trigo-Cebada-Colza-Soja 1ª y 2ª.

Profundidad: P1: 0-5 cm, P2: 5-10 cm; P3: 10-20 cm

Fecha: □ Diciembre 2009 , ▨ Abril 2010 , ■ Agosto 2010

No se observó correlación entre el CO y las diferentes actividades enzimáticas, lo cual pone en evidencia que existen otros factores que intervienen en las funciones metabólicas de los microorganismos, como pueden ser el pH y la temperatura, y aquellos otros factores que pueden ser afectados por las prácticas de manejo (Tian et al., 2010).

Es así que, los microorganismos presentes en el suelo responden de manera integrada y sensible a los cambios producidos en el ambiente (Stenberg, 1999), de tal manera que sus variaciones obedecen a un grado de perturbación generado (Calderón et al., 2000). Comprender la respuesta de la diversidad microbiana a ambientes físico-químicos específicos, es un aspecto crucial para entender el impacto de las actividades antropogénicas sobre la calidad del suelo y la sustentabilidad de las prácticas agronómicas (Turco et al., 1994).

## Comunidad fúngica del suelo

Dentro de la microflora del suelo se encuentran los hongos, grupo sumamente abundante que pueden subsistir como saprófitos, parásitos y simbioses. La importancia de estos organismos no se limita al papel que juegan en el equilibrio ecológico, como degradadores de restos orgánicos y reguladores de poblaciones de fitopatógenos y plagas en el caso de los entomopatógenos, sino que además, tienen el potencial de producir enzimas y metabolitos secundarios importantes en la industria farmacológica y alimenticia, entre otras (Heredia Abarca et al., 2004). El número y actividad de tales microorganismos dependen de diversos factores, entre ellos: el cultivo y su manejo, el tipo y manejo del suelo, el macro y microclima del lugar (Schinner et al., 1996). La actividad fisiológica de la micobiota en diferentes ecosistemas es dependiente del tipo de metabolismo de los hongos y del ambiente fisicoquímico que les rodea en un tiempo determinado (Sutton et al., 1998). Los hongos degradan MO compleja, obtienen el N del amonio o nitratos y también de proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos orgánicos nitrogenados (Mahaffe; Kopper, 1997). Por lo cual, la abundancia y estructura de la comunidad fúngica depende de la composición química de los residuos de plantas incorporados al suelo y de factores ambientales. Así, los hongos constituyen más del 50 % de la comunidad microbiana en suelos agrícolas (Atlas; Bartha, 1998). Participan activamente en la formación de amonio y compuestos nitrogenados simples, en la formación de humus a partir de restos orgánicos frescos, e influyen sobre la formación de agregados estables mediante la penetración de sus hifas y uniendo mecánicamente las partículas del suelo.

En el reino Fungi cerca de 80.000 especies han sido descritas, pero se cree que existen 1.5 millones (Hawksworth, 1991). Por lo cual, describir y comparar las comunidades de hongos en lotes agrícolas permitiría establecer relaciones entre las variaciones comunitarias y las características de lotes y así determinar la estructura de las comunidades fúngicas que caracterizan las diferentes condiciones de manejo, y analizarlas en relación con características físicas y agronómicas de los lotes, para definir dispositivos de manejo. Al presente, en nuestro país es escasa la información acerca del impacto de la actividad agrícola sobre la micobiota del suelo en los agroecosistemas (Bonel; Morrás, 2000; Morello et al., 2000; Moreno et al., 2011; Nesci et al., 2006; Schalamuk, 2006, 2007; Silvestro et al., 2011 a,b,c; da Veiga; Noailles, 2000).

En este proyecto, nos planteamos aportar conocimientos sobre la estructura y dinámica de la micobiota del suelo en sistemas de SD, a fin de contribuir al manejo de cultivos de importancia agronómica en la Argentina. Si consideramos que la diversidad fúngica del suelo está condicionada a las modificaciones generadas por el hombre en sus prácticas agrícolas, esta respuesta se ve reflejada en su diversidad fenotípica y genotípica, por lo cual los niveles de biodiversidad pueden resultar potenciales indicadores de la actividad antrópica.

Los aislamientos obtenidos se clasificaron en Phylum Oomycota (2), P. Zygomycota (19), Phylum Ascomycota (975), P. Basidiomycota (2), y aquellos que no esporularon se los agrupó como Mycelia sterilia (191). El número de aislamientos obtenidos en los primeros 5 cm del suelo varió entre 68 y 104. En los siguientes 15 cm ese margen estuvo comprendido entre 40 y 79.

Los géneros más abundantes fueron aquellos que frecuentemente se observan en suelos agrícolas y que presentan una distribución cosmopolita, siendo algunos de ellos de reconocida actividad celulolítica como: *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Trichoderma* sp., *Humicola* sp. y *Penicillium* sp. Dentro de ellos, merece especial atención el género *Fusarium* por ser considerado un potencial patógeno de cereales y de leguminosas en ensayos de SD. En menor proporción fueron aislados otros saprotrofos de suelo *Acremonium* sp., *Gilmaniella* sp. *Myrothecium* sp., *Nectria* sp., *Rhizopus* sp., *Stachybotris* sp., y potenciales patógenos como *Alternaria* sp., *Dreschlera* sp., *Pithomyces* sp., *Verticillium* sp.

Se observó una distribución vertical de los géneros, la mayor frecuencia (82 %) y variabilidad de géneros se correspondió con los primeros 5 cm del suelo. En sistemas de SD la capa superficial de rastrojo aporta C en el suelo superficial y formas orgánicas de N, produciendo un aumento de la biomasa de bacterias y hongos en los primeros 10 cm del suelo (Tabla 8.2).

Tabla 8.2: Efecto de las diferentes secuencias de cultivo y profundidades de muestreo sobre la frecuencia de géneros aislados.

| Fuente de variación     | gl | p-value |
|-------------------------|----|---------|
| Bloque                  | 2  | 0,3724  |
| Secuencia               | 4  | 0,6979  |
| Profundidad             | 2  | 0,0282  |
| Secuencia x Profundidad | 8  | 0,9578  |
| Error                   | 28 | 0,04    |
| Total                   | 44 |         |

Secuencia: I: Agrícola conservacionista: Trigo-Girasol-Sorgo granífero; II: Mixto con pasturas sin verdeos: Trigo-Sorgo-Soja-Colza; III: Agrícola de invierno para suelos limitados: Trigo-Colza-Cebada-Soja 2ª; IV: Mixto tradicional con verdeos: Trigo-Avena/Vicia-Girasol; V: Agrícola intenso: Trigo-Cebada-Colza-Soja 1ª y 2ª.  
Profundidad: a: 0-5 cm, b: 5-10 cm; c: 10-20 cm

Uno de los géneros que se aisló en mayor frecuencia fue *Fusarium*. Las especies de *Fusarium* están ampliamente distribuidas en diferentes tipos de suelo como saprófito, condición que también favorece su presencia en suelos cultivados asociadas comúnmente con restos y raíces de las plantas (Burgess, 1981). Asimismo, también es conocida su condición de endófito (Pitt; Hocking, 1999). En los sistemas agrícolas, la importancia de este hongo está fuertemente asociada con varias enfermedades que tienen un alto impacto en los rendimientos y también con la contaminación por micotoxinas en los granos. Diferentes estudios sugieren que la diversidad de la población de *Fusarium* tiene una fuerte relación con el tipo de labranza y manejo del cultivo (Wakelin et al., 2008). *Fusarium* puede sobrevivir como clamidospora o micelio asociado a las partículas del suelo, por lo tanto, ser una potencial amenaza para

la sanidad de los cultivos cuando las condiciones ambientales son favorables para el desarrollo del hongo. Para suelos de la Argentina, las referencias disponibles están relacionadas con la población de *Fusarium* en relación a su presencia en rastrojos y raíces de las plantas (Fernández et al., 2008). A nuestro entender, los estudios comparativos sobre los efectos de manejos agrícolas sobre la población de *Fusarium* del suelo son escasos. Nesci et al. (2006) observó que la población de *Fusarium* fue significativamente diferente entre LC y SD. Steinkellner y Langer (2004), observaron que la frecuencia *Fusarium* en el suelo se vio afectada por la fecha de toma de muestra, el tipo de labranza y el tipo de secuencia de cultivo. Wakelin et al., (2008) demostraron que la comunidad de *Fusarium* spp., está estrechamente relacionada con el tipo de manejo del sistema agrícola.

Se aislaron 122 cepas de *Fusarium* las que se agruparon como *F. equisetii*, *F. merismoides*, *F. oxysporum*, *F. scirpi* y *F. solani*. La distribución de las cinco especies del género *Fusarium* fue diferente entre las secuencias de cultivos y profundidades. Sin embargo, estas diferencias fueron estadísticamente significativas sólo para *F. oxysporum* (Tabla 8-3). Hemos observado el mayor número de aislamientos en los primeros 5 cm del suelo y el mismo resultado fue encontrado en Coronel Suárez, provincia de Buenos Aires, Argentina por Cabello (1986a). La mayor Fr de *F. oxysporum* se observó en la secuencia de agricultura intensiva (Tratamiento V= TV). La menor Fr se observó en la secuencia mixto tradicional con verdes (TIV). Este resultado podría explicarse por la presencia de pastoreo de ganado y la baja disponibilidad de rastrojos respecto a los demás.

Tabla 8.3: Efecto de la secuencia de cultivo y profundidad sobre la Fr de *Fusarium* sps.

| Fuente de variación     | Gl | Cuadrado medio      |                       |                     |                  |                  |
|-------------------------|----|---------------------|-----------------------|---------------------|------------------|------------------|
|                         |    | <i>F. equisetii</i> | <i>F. merismoides</i> | <i>F. oxysporum</i> | <i>F. scirpi</i> | <i>F. solani</i> |
| Bloque                  | 2  | 0,6221              | 0,6221                | 0,4441              | 0,6221           | 0,8746           |
| Secuencia               | 4  | 0.5828 ns           | 0.5828                | 0.0186 ***          | 0.5828           | 0.4192           |
| Profundidad             | 2  | 0.6221              | 0.6221                | 0.0001 ***          | 0.1638           | 0.8746           |
| Secuencia x Profundidad | 8  | 0.4011              | 0.4011                | 0.1645              | 0.6690           | 0.6015           |
| Error                   | 28 |                     |                       |                     |                  |                  |
| Total                   | 44 |                     |                       |                     |                  |                  |

ns: no significativo; \*\*\* F value significant at  $P < 0.05$

Secuencia: I: Agrícola conservacionista: Trigo-Girasol-Sorgo granífero; II: Mixto con pasturas sin verdes: Trigo-Sorgo-Soja-Colza; III: Agrícola de invierno para suelos limitados: Trigo-Colza-Cebada-Soja 2ª; IV: Mixto tradicional con verdes: Trigo-Avena/Vicia-Girasol; V: Agrícola intenso: Trigo-Cebada-Colza-Soja 1ª y 2ª.

Profundidad: a: 0-5 cm, b: 5-10 cm; c: 10-20 cm

Otro de los géneros aislados con mayor frecuencia fue *Trichoderma*. Es un género frecuentemente hallado en suelos agrícolas, forestales y pastizales, su amplia distribución se debe a su actividad celulolítica. Ha sido y es ampliamente estudiado debido a su condición de agente biocontrolador de fitopatógenos y promotor de crecimiento (Perelló et al., 2009). Meriles et al. (2009) observaron que la frecuencia de propágulos de *Trichoderma* en suelo agrícola bajo labranza reducida, aumenta cuando la secuencia anual de rotación alterna maíz/soja frente al monocultivo de soja. Asimismo, Larking (2003) señaló que los propágulos de *Trichoderma* fueron mayores en aquellos sistemas donde las secuencias son ricas en cultivos (trigo, avena, mijo y cebada) respecto al monocultivo de papa. Se identificaron diez especies de *Trichoderma*: *T. aureoviride*, *T. hamatum*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *T. longibroneum*, *T. piluliferum*, *T. polysporum*, *T. pseudokoningii*, *T. strigosum* y *T. viride*. Sólo se observaron diferencias estadísticamente significativas entre profundidades para la abundancia (número de aislamientos), para *T. hamatum* siendo los 0-5 cm la profundidad que mostró el mayor valor (5 aislamientos).

*Penicillium* es uno de los géneros cosmopolita por excelencia, frecuentemente hallado en diferentes ambientes y climas. Es un género considerado saprobio (celulolítico por excelencia), solubilizador de fósforo (Panda et al., 2010). *Penicillium* sp. ha sido y es ampliamente estudiado por ser productor de metabolitos secundarios y toxinas. Se obtuvieron 164 cepas correspondientes a *Penicillium* las que se agruparon en 15 especies. El 43,9 % se aisló de los primeros 5 cm del suelo. En el tratamiento TII (Mixto con pasturas sin verdes) se aisló el 32 % de las cepas de *Penicillium*. El ANOVA para la abundancia de las especies de *Penicillium* no mostró diferencias estadísticamente significativas. La especie más numerosa fue *P. funiculosum* representando el 47 % de las especies de este género, el que también se obtuvo en mayor número en el TII. *P. funiculosum* es capaz de degradar un amplio espectro de fuentes carbonadas y ha sido aislado desde diferentes sustratos como ser suelo, papel, cuero, agua y alimentos, en regiones tropicales y templadas. Asimismo ha sido citado como un potencial agente biocontrolador, a través de la producción de antibióticos y antifúngicos (Fang; Sao, 1995).

Entre los potenciales patógenos se aislaron 22 cepas pertenecientes al género *Alternaria*, las que se identificaron como *A. tenuissima* y *A. alternata*. Ambas especies requieren especial atención ya que se encuentran citadas como patógenas de trigo y productoras de micotoxinas. Al presente, estas especies se han aislado frecuentemente de trigo y cebada (comunicación personal Perelló CIDEFI), por lo que se sugiere a futuro realizar un estudio detallado de la comunidad de *Alternaria* en el suelo y su potencialidad patógena sobre los cultivos.

### Consideraciones finales

Toda esta diversidad de géneros y especies, merece especial atención en la continuidad de su estudio en el tiempo. Es necesario observar las posibles variaciones estacionales que ocurran, a los efectos de detectar cambios en la dinámica de la comunidad. Así mismo, muchos de estos géneros deberán ser corroborados como potenciales fitopatógenos a través de pruebas de patogenicidad. En el caso de géneros como *Trichoderma* y *Penicillium*, se continuarán con estudios referidos a la potencial producción de metabolitos secundarios para ser utilizados como agentes biocontroladores o aplicaciones industriales.

El desarrollo de este proyecto contempla el inicio de estudios de una temática escasamente abordada en nuestro país, la de los indicadores biológicos de calidad de suelos y su potencial correlación con la diversidad alfa de la comunidad fúngica del suelo. Conocimientos que son de una necesidad prioritaria de ser desarrollados ya que la frontera agrícola se extiende, la explotación de la tierra es mayor y los productores están ávidos de alcanzar óptimos rendimientos de sus cultivos, con la necesidad de preservar el suelo para la futura producción de alimentos cuya demanda es cada vez más elevada en el contexto internacional. A los efectos de realizar este proyecto es imprescindible un trabajo abordado desde diferentes disciplinas y la aplicación de distintas metodologías para abarcar la mayoría de los espacios posibles.

A pesar que la diferencia en la diversidad alfa de la comunidad fúngica no ha sido estadísticamente significativa, se observa una tendencia que indica que "La diversidad fúngica del suelo está condicionada a los cambios generados por el hombre en sus prácticas agrícolas. Esta respuesta se ve reflejada en su diversidad feno y genotípica, por lo cual los niveles de biodiversidad pueden resultar potenciales indicadores de la actividad antrópica". Es indispensable la correlación de parámetros físicos, químicos y biológicos, actualmente utilizados para evaluar la calidad y salud de los suelos, como también con las condiciones agroclimáticas para descartar variaciones estacionales de los mismos. Continuar con este tipo de estudios permitirá evaluar el uso potencial de la comunidad fúngica como indicadora de calidad de suelos, a fin de contribuir al manejo de cultivos de importancia agronómica en la Argentina.

### **Agradecimientos:**

Este proyecto es subsidiado a través del PRH32-PICT 149 FONCyT-ANPCyT. Las actividades realizadas sobre los ensayos de Rotaciones de la CEI Barrow se encuentran comprendidas dentro del Convenio de cooperación técnica UNCPBA-CERBAS INTA para desarrollar proyectos conjuntos de investigación y desarrollo en el área de Micología, mediante la participación conjunta de los técnicos de la Chacra Experimental Integrada Barrow, y el Laboratorio de Biología Funcional y Biotecnología de la Facultad de Agronomía de la UNCPBA.

### **Bibliografía**

- ALVEAR, M., PINO, B. M., CASTILLO R., TRASAR-CEPEDA C., GIL-SOTRES F. (2006). Efecto de la cero labranza sobre algunas actividades biológicas en un alfisol del sur de Chile. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 6: 38-53.
- ATLAS, R., BARTHA, R. (1998). *Microbial Ecology Fundamentals and Applications*. Fourth Edition. Benjamin Cummings Publishing Company. Menlo Park, Ca. USA. pp. 694.
- BANDICK, A.K., DICK, R.P. (1999) Field management effects on soil enzymes activities. *Soil Biol Biochem.* 31: 1471-1479.
- BONEL, B., MORRAS, H. (2000). Estudio de la morfología del horizonte superficial de un Argiudol con diferentes manejos de rastrojos. *Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata.*
- BURGESS, L. W. (1981). General ecology of the Fusaria. in: *Fusarium: Disease, Biology, and Taxonomy*. P. E. Nelson, T. A. Toussoun, and R. J. Cook, eds. The Pennsylvania University Press, University Park. pp. 225-235.
- CABELLO, M. (1986). Análisis de la metodología empleada en el aislamiento de hongos en suelos de la región interserrana (Partido de Coronel Suárez). *Ciencia del Suelo.* 2:226-229.
- CALDERON, F. J., JACKSON, L. E., SCOW, K. M., ROLSTON, D. E. (2000). Microbial responses to simulated tillage in cultivated and uncultivated soils. *Soil Biology & Biochemistry.* 32:1547-1559.
- CAMPOS, A. (1999). Efecto de la simbra de *Pinus caribea* L., en fracciones de materia orgánica de un suelo de sabana, Uverito-Estado Monagas. Tesis Universidad Central de Venezuela. pp. 84
- da VEIGA, A., NOAILLES BOSH, E. (2000). Pérdidas de materia orgánica en suelos de la subregión pampa ondulada. Argentina. Abstracts 11th. International Soil Conservation Organization Conference (ISCO 2000), INTA- FAUBA. Buenos Aires. 1- 56. pp 34.
- FANG, JG., TSAO, PH. 1995. Efficay of *Penicillium funiculosum* as a biological control agent against *Phytophthora* roots rots of azalea and citru. *Phytopathology.* 85:871-878.
- FERNANDEZ, M. R., HUBER, D. BASNYAT, P., ZENTNER, R. P. (2008). Impact of agronomic practices on populations of *Fusarium* and other fungi in cereal and noncereal crop residues on the Canadian Prairies. *Soil & Tillage Research.* 100: 60-71.
- HAWKSWORTH, D. L. (1991). The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance and conservation. *Mycol. Res.* 95: 641-655.
- HEREDIA ABARCA, G., REYES ESTEBANEZ, M., ARIAS MOTA, R. M. (2004). Adiciones al conocimiento de la diversidad de los hongos conidiales del bosque mesófilo de montaña del estado de Veracruz. *Acta Botánica Mexicana.* 66: 1-22.
- JENKINSON, D. S., LADD, J. N. (1981). Microbial Biomass in Soil: Measurement and Turnover. In: Paul EA, Ladd JN, editors. *Soil Biochemistry*. Vol. 5. New York: Marcel Dekker. pp. 455-471.
- KRUPINSKY, J. M., BAILEY, K. L., Mc MULLEN, M. P., GROSSEN, B. D. y TURKINGTON, T. K. (2002). Managing Plant Disease Risk and Diversified Cropping Systems. *Agronomy Journal.* 94: 198-209.
- LARKIN, R. P. (2003). Characterization of soil microbial communities under different potato cropping systems by microbial population dynamics, substrate utilization, and fatty acid profiles. *Soil Biology & Biochemistry.* 35: 1451-1466
- MAHAFFE, W. F., KOPPER, J. W. (1997). Temporal changes in the bacterial communities of soil, rhizosphere, and endomycorrhiza associated with field-grown cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Microb. Ecol.* 34:210-223.
- MERILES J. M. S., CONFORTO C., FIGONI G., LOVERA E., MARCH G. J., GUZMAN C. A (2009). Soil microbial communities under different soybean cropping systems: Characterization of microbial population dynamics, soil microbial activity, microbial biomass, and fatty acid profiles. *Soil & Research.* 103:271-281
- MORELLO, J., BUZAI, G., BAXENDALE, S., RODRIGUEZ, A., MATTEUCCI, S., GODAGNONE, R., CASAS, R., (2000). Urbanization and the consumption of fertile land and other ecological changes: the case of Buenos Aires. *Revista*



- Environment & Urbanization. Volume 12. Number 2. pp. 119-131.
- MORENO, M. V., SILVESTRO, L. B., FORJAN, H., MANSO L., BERON, C., ARAMBARRI, A. M. (2011). Ocurrencia de especies fúngicas en un suelo del centro- sur bonaerense: respuesta a diferentes manejos agrícolas. XII Congreso Argentino de Micología, Posadas, Misiones, Argentina.
- NESCI A., BARROS G., CASTILLO C., ETCHEVERRY M. (2006): Soil fungal population in preharvest maize ecosystem in different tillage practices in Argentina. *Soil & Tillage Research*, 91:143-149.
- PANDA, T. (2010). Role of fungi in relation to litter decomposition associated with *Casuarina equisetifolia* L. in coastal sand dunes, Orissa, India. *Int. J. Biod. Sci. Ecosyst. Serv. Manage.* 6: 52- 60.
- PERELLO, A., MORENO, M. V., MONACO, C., SIMON, M. R. & CORDO, C. (2009). Biocontrol of *Septoria tritici* Blotch on wheat by *Trichoderma* sp. under field conditions in Argentina *BioControl*. 54: 113-122.
- PITT J.I., HOCKING A.D. (1999). *Fungi and food spoilage*. Second edition. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland.
- QUIROGA, A., ORMEÑO, O., PEINEMANN, N. (1998). Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos En: Panigatti, J; Marelli, H; Buschiazzo, D; Gil, R. Eds. *Siembra Directa*. Hemisferio Sur. pp. 237-243.
- SCHALAMUK, S. VELAZQUEZ, S., CHIDICHIMO, H., CABELLO, M. (2006). Fungal spore diversity of arbuscular mycorrhizal associated with spring wheat: effect of tillage. *Mycologia* 1: 22–28.
- SCHALAMUK, S., CHIDICHIMO, H., CABELLO, M. (2007). Variación en la composición de especies de Glomeromycota (Fungi) en cultivos de trigo bajo distintos sistemas de labranza. *Boletín de la Soc. Argentina de Botánica*. 42: 45-53.
- SCHINNER, F., OHLINGER, R., KANDELER, E., MARGESIN, R. (1996). *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York, pp. 3-5.
- SHUKLA, M., R. LAL, R., EBINGER, M. (2003). Tillage effects on physical and hydrological properties of a Typic Argiaquoll in Central Ohio. *Soil Sci.* 168: 802-811.
- SILVESTRO, L. B., BONGIORNO, F., ALBANESI, A., FORJAN, H., STENGLEIN, S. A., DINOLFO, M. I., BERON, C.; ARAMBARRI, A. M.; MORENO, M. V. (2011). Efecto de la incorporación de la soja en diferentes rotaciones de cultivo bajo siembra directa sobre la comunidad fungica del suelo. I Jornada Temática del INBA. Soja. Investigación científico-técnica desarrollada en el INBA (CONICET/FAUBA) y en la Facultad de Agronomía de la UBA. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- SILVESTRO, L. B., MORENO, V., FORJAN, H., ARAMBARRI, A. M. (2011). Comunidad fúngica del suelo bajo siembra directa, en el sudeste bonaerense. Fungal community of soil under zero-tillage of southeastern Buenos Aires province XXXIII Jornadas Argentinas de Botánica.
- SILVESTRO, L. B., MORENO, M. V., FORJAN, H., ARAMBARRI, A. M. (2011). Comunidad celulolítica de hongos del suelo bajo siembra directa en Barrow, Buenos Aires. Cellulolytic fungal community of soil under zero-tillage in Barrow, Buenos Aires province. XXXIII Jornadas Argentinas de Botánica.
- SINSABAUGH, R. L., REYNOLDS, H., LONG, T. M. (2000) Rapid assay for amidohydrolase (urease) activity in environmental samples. *Soil Biol Biochem* 32:2095–2097
- STEINBACH, H. S., ALVAREZ, R. (2006). Cambios en las propiedades físicas de los suelos pampeanos por adopción de siembra directa. *Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta-Jujuy
- STEMBERG, B. (1999). Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Section B, Soil and Plant Science 49, 1-24.
- STEINKELLNER S., LAMGER I. (2004) Impact of tillage on the incidence of *Fusarium* spp. in soil. *Plant and Soil*. 67, 13-22.
- SUTTON, D. A., FOTHERGILL, M. A., RINALD, M. G. (1998). *A guide to clinically significant fungi*. W.Williams and W. Wilkins, Baltimore, U.S.A.
- TIAN, L., DELL, E.; SHI, W. (2010). Chemical composition of dissolved organic matter in agroecosystems: Correlation with soil enzyme activity and carbon and nitrogen mineralization. *App. Soil Ecology*. 426-435.
- TURCO, R. F., KENNEDY, A. C., JAWSON, M. D. (1994). Microbial indicators of soil quality. In: Doran, J.W. (Ed.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science of Society of America, Special Publication 35, Madison, WI. pp. 73-90.
- WAKELIN S., WARREN R., KONG L., HARVEY P. (2008). Management factors affecting size and structure of soil *Fusarium* communities under irrigated maize in Australia. *Applied Soil ecology*. 39: 201-209.

## **IMPACTO DE DIFERENTES SECUENCIAS DE CULTIVOS SOBRE LA MACRO Y MESOFAUNA DEL SUELO**

*Ing.Agr. (MSc.) Natalia Carrasco*

La fauna edáfica está constituida mayormente por invertebrados. La microfauna es de tamaño pequeño, por lo que solo puede ser vista bajo microscopio. Se alimenta de otros microorganismos y de los desechos del resto de la fauna. La mesofauna es visible al ojo humano, pero de tamaño tan reducido que solo pueden percibirse observando atentamente. Es la encargada de fragmentar físicamente el rastrojo, afectando la estructura del suelo a través de sus excrementos, que luego son ingeridos por las especies de la macrofauna para absorber sus compuestos asimilables. Esta última es la de tamaño mayor, dentro de la cual se encuentran las lombrices y los ciempiés. Poseen el mayor potencial para causar efectos directos sobre las propiedades funcionales del suelo, ya que consumen y redistribuyen los residuos orgánicos en el perfil, lo cual incrementa el área superficial y la disponibilidad de sustrato para los microorganismos (Lavelle et al. 1997). Usualmente ingieren una mezcla de materiales orgánicos y minerales, por lo cual,

sus excrementos son comparativamente más largos que los de la mesofauna y contienen una mezcla de materiales parcialmente descompuestos. Son grandes constituyentes de la estructura del suelo ya que además cavan galerías o construyen nidos, afectando la porosidad y el flujo del agua y aire (Lavelle et al., 1997). La densidad, diversidad y actividad poblacional de esta fauna pueden ser afectadas por el sistema de labranza y la secuencia de cultivos, entre otros, ya que se generan cambios en el medio físico, químico y biológico debido a modificaciones en el contenido de agua, temperatura, aireación, y el contacto entre los materiales orgánicos y las partículas minerales del suelo (Bedano; Ruf, 2007). A su vez, cada especie responde de manera diferente, ya que mientras algunos son favorecidos por estos cambios, otros se ven perjudicados o se mantienen invariables (Kladivko, 2001).

### **Determinación de la fauna edáfica.**

El aumento de la proporción agrícola dentro de las rotaciones modificó el tradicional esquema mixto agrícola-ganadero de la región. La inclusión de cultivos de cosecha gruesa alternando con los de fina (Forján et al., 2010) y la amplia adopción del sistema de siembra directa, plantearon interrogantes en cuanto a los efectos que se podían producir sobre los organismos que desarrollan su vida en el suelo. En el Ensayo nº3 (12 años de rotaciones en siembra directa), luego de la cosecha de trigo (otoño 2010), se tomaron 20 muestras de suelo de 314 cm<sup>2</sup> hasta los 20 cm de profundidad, para obtener la fauna edáfica de cada rotación, y los índices ecológicos de Dominancia, Equitatividad y Diversidad (Magurran, 1988).

En la sumatoria de todas las muestras se registró una abundancia total de 967 individuos.

### **Efecto de las rotaciones sobre la fauna edáfica**

En la **rotación agrícola conservacionista** (Tratamiento 1) fueron registradas las mayores poblaciones de ciempiés y milpiés (Fig. 1). Específicamente, este último, prefiere habitar sitios poco disturbados, que coinciden con los de esta rotación: baja presión de cultivos, barbechos largos, menor cantidad de labranzas que las otras dos rotaciones agrícolas. La presencia de milpiés es deseable en un sistema, debido a que por ser detritívoros cumplen un papel muy importante en la degradación de rastrojos, en el reciclado de nutrientes y en la incorporación de la materia orgánica en el suelo (Mauriés, 1998; Pruett, 2001).

A su vez, ecológicamente, esta rotación generó una de las poblaciones edáficas más equilibradas (Magurran, 1988), es decir, que fue más equitativa la cantidad de individuos que presentó cada una de las especies, sin una dominancia visible y donde la mayoría de los individuos pertenecieron a unas pocas especies. Así, la Diversidad y Equitatividad, fueron de las más altas (Figura 8.4), caracteres deseables, ya que indican mayor diversidad de especies y mayor grado de similitud en cuanto a número de individuos dentro de cada especie. Este sistema fue el único donde no se encontraron individuos de bicho bolita. Alrededor del 70% de la comunidad encontrada pertenece a los llamados "geófagos" (Figura 8.5), es decir especies cuya actividad tiene un efecto directo sobre las propiedades del suelo.

En la **rotación mixta con pasturas** (Tratamiento 2), en donde luego de la pastura en base a alfalfa se sembró soja, colza/soja, trigo/soja, sorgo, soja y trigo, fueron muy predominantes los enquitreidos, por lo cual el índice de Dominancia resultó ser elevado. Asimismo, en correlación a ello, la Diversidad fue baja lo mismo que la Equitatividad. Es decir, que si bien fue una rotación en donde se muestrearon numerosos individuos (alrededor de 200), más de tres cuartas partes de los mismos fueron enquitreidos, indicando que fue un sistema altamente dominado por una sola especie, que aunque favorece al ciclado de P y la formación del suelo, para un adecuado funcionamiento del sistema, es mejor contar con un equilibrio en el número de individuos de cada especie, para que se genere la sinergia de la unión de efectos de cada una.

A su vez, en este sistema, se observó un bajo número de milpiés, en relación a los otros sistemas, así como un alto número de colémbolos, cuya función es la de fragmentar los rastrojos, o consumir microorganismos, dependiendo de la especie a la cual pertenecen los mismos.

En este tratamiento, la proporción de geófagos fue superior al 80% (Fig. 8-5).

En la rotación **agrícola con predominancia de cultivos de invierno** (Tratamiento 3), y dobles cultivos de colza o cebada con soja, se detectó un predominio de los enquitreidos por sobre el resto de las especies, y fue la rotación con mayor número de individuos, superando los 300 colectados en el muestreo. Por otro lado, fue destacable que si bien la mayor parte de ellos correspondieron a los enquitreidos, no fue la rotación que presentó el mayor índice de Dominancia, ya que tuvieron gran importancia también los colémbolos. Asimismo, fue la única rotación donde no se hallaron ciempiés, cuya alimentación se basa en la depredación de pequeños insectos. También fueron escasos los ejemplares de milpiés que, como se mencionó, se alimentan de rastrojo, y prefieren sitios poco perturbados. En lo que respecta a los grupos funcionales, alrededor del 80% de los individuos fueron geófagos (Fig. 8-5).

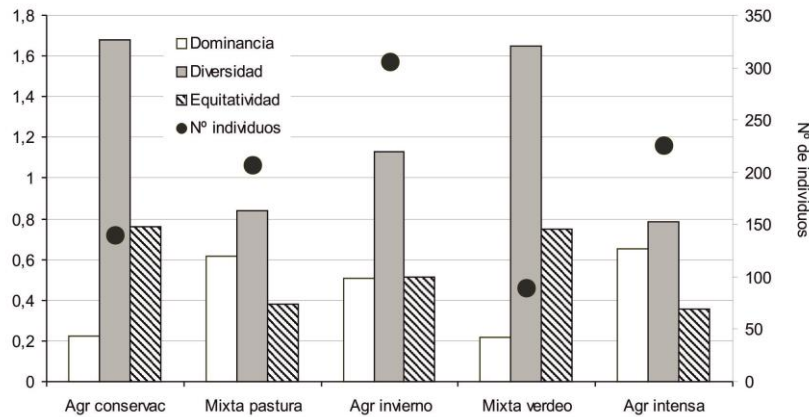


Figura 8.4. Abundancia (Nº de individuos) e Índices ecológicos de Dominancia, Diversidad y Equitatividad.

La segunda **rotación mixta**, basada en **verdeos de invierno** (Tratamiento 4), específicamente de avena vicia, seguida luego por girasol, e intercalando trigo entre años, favoreció el equilibrio dentro de la comunidad edáfica, es decir que fue más homogénea la cantidad de individuos que presentó cada especie, por lo que el índice de Dominancia fue bajo con respecto a las otras rotaciones. A su vez, el índice de Diversidad se vio favorecido en esta secuencia. De todas formas, es importante considerar que fue la rotación que presentó el menor número de individuos, básicamente debido a la baja presencia de enquitreidos. Con todo esto, el grupo funcional de los geófagos no fue tan relevante como en las otras secuencias, sin llegar al 50% de representatividad; aquí fueron importantes los saprófagos, es decir los que fragmentan los rastros, constituidos por especies de colémbolos, milpiés y bichos bolita; así como también los depredadores, representados en este caso por otras especies de colémbolos y ciempiés.

La última rotación de este ensayo, correspondió a una **secuencia agrícola intensa** (Tratamiento 5), con alta proporción de doble cultivo con soja. Este contexto generó un ambiente con predominancia de enquitreidos en la población, lo que derivó en un índice de Dominancia elevado y bajos índices de Diversidad y Equitatividad. El número de individuos colectados fue intermedio (alrededor de 200), y predominó el grupo funcional de los geófagos (principalmente enquitreidos), con alrededor del 80% (Figura 8.5). La proporción restante correspondió casi totalmente a los saprófagos o fragmentadores del rastrojo.

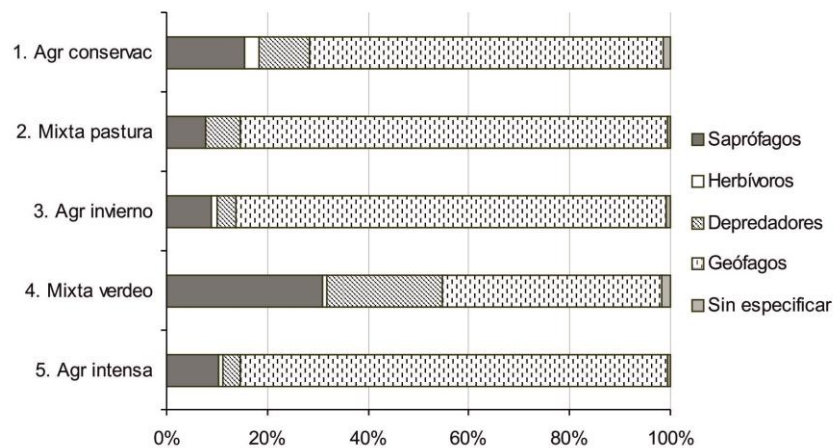


Figura 8-5: Composición porcentual de los diferentes grupos funcionales: saprófagos, herbívoros, depredadores y geófagos para cada rotación.

En líneas generales se observó que la presencia de individuos del grupo funcional de los herbívoros fue escasa, y los pocos individuos colectados fueron caracoles y bichos bolita. Asimismo, el número total de ejemplares obtenidos en las muestras dependió en gran medida de la cantidad de enquitreidos colectados; así observamos que fue menor la cantidad de individuos muestreados en las secuencias 1 y 4, correspondiendo a las muestras con menor número de enquitreidos.

A su vez, resulta necesario aclarar que en todas las secuencias, el índice de Diversidad presentó el mismo comportamiento que el índice de Equitatividad, debido a que sorpresivamente en todas las secuencias, el número total de especies detectado fue el mismo.

Finalmente, no fueron hallados más de tres ejemplares de coleópteros en ninguna rotación. Hay que tener en cuenta que si bien las larvas de los colémbolos son consideradas plagas del suelo porque consumen las plántulas de los cultivos que se implantan, no sólo se alimentan de raíces sino también pueden ejercer efectos positivos al consumir restos vegetales en superficie, por ejemplo semillas de malezas, realizando así un reciclaje de nutrientes o favoreciendo la aireación y la infiltración de agua en el suelo (Gassen, 2001).

## **Bibliografía**

- BEDANO J. C.; RUF A. 2007. Soil predatory mite communities (Acari: Gamasina) in agroecosystems in central Argentina. *Applied Soil Ecology* 36: 22-31.
- FORJAN H., MANSO M. L., ZAMORA M., MOLFESE E., ISTILART C., SEGHEZZO M. L. 2010. Rotaciones de cultivos en siembra directa. En: *Carpeta anual de cosecha fina 2010*. CEI Barrow.
- GASSEN D. N. 2001. Beneficios de escarabeidos en lavouras sob plantio direto. Pp. 159-168 en: -Díaz Rosello R. (coord.). *Siembra directa en el cono sur*. PROCISUR. Montevideo. 450 pp
- JEFFERY, S.; GARDI C., JONES A., MONTARELLA L., MARMO L., MIKO L., RITZ K., PERES G., ROMBKE J., VAN DER PUTTEN H. (eds). 2010. *European atlas of soil biodiversity*. European comisión, Publications office of the European Union, Louxembourg. 128 pág.
- KLADIVKO E. J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil Till. Res.* 61 (1): 61-76.
- LAVELLE P.; BIGNELL D.; LEPAGE M.; WOLTERS V.; ROGER P.; INESON P.; HEAL O.W.; DHILLION S. 1997. Soil function in a changing World: the role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.* 33:159-193.
- MAGURRAN A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. Pp. 179.
- MAURIES J. P. 1998. Diplopoda. En: J.J. Morrone y S. Coscaron (Eds). *Biodiversidad de Artrópodos Argentinos*. Ediciones Sur. Cap. 44. p. 475-484
- PRUETT C. J.; GUAMAN I. 2001. Principios de manejo integrado de plagas y biocontrol en siembra directa. En: *Siembra Directa en el cono sur*. Documentos PROCISUR. MCA. p. 121-141
- SAS Institute. 2001. *SAS User's Guide: Statistics Vers. 8*. SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.

# Capítulo 9: Síntesis y conclusiones

*Prospectiva y condicionamientos de los escenarios actuales. Limitantes a la sustentabilidad. Tecnologías de insumos y de procesos. Sistemas productivos y sostenibles.*

*Ing. Agr. Horacio Forján*

## **Efecto del uso agropecuario**

Según estudios recientes, la población mundial seguirá su ritmo de crecimiento hasta mediados de siglo y por lo tanto, se requerirá de una mayor producción de alimentos para abastecer su alimentación (Andrade, 2011). Esta creciente demanda, tanto en cantidad como en calidad, está generando hoy en día, una fuerte presión sobre los recursos naturales (suelo y agua) principales factores en los que se apoya la producción de alimentos.

El aprovechamiento del suelo por parte del hombre ha tenido una consecuencia inevitable como es la alteración del ecosistema natural (Viglizzo, 1984). La producción agropecuaria necesariamente modifica esa situación original, y cuando ese uso no se realiza en forma compatible con la preservación del ambiente y los recursos naturales, se vislumbra que la producción no va a ser sustentable en el tiempo.

Existen una serie de características de los sistemas de producción actuales que plantean un interrogante sobre la permanencia de los mismos en el tiempo. En ellas se presenta al medio ambiente como objeto externo al hombre, inagotable y destinado a su satisfacción. Una visión productivista y cortoplacista, donde el rendimiento representa el sinónimo indiscutido de éxito (Sarandón, 2002).

Las principales secuelas que deja el mal uso agropecuario son: degradación de los suelos, contaminación del ambiente y destrucción de la biodiversidad (Altieri, 1994).

## *Pérdida de la capacidad productiva de los suelos*

Los suelos de la pradera pampeana a los cuales no escaparon los de nuestra región, se vieron afectados por el cambio que ocurrió en las últimas décadas respecto a las buenas perspectivas que rigieron la actividad agrícola en desmedro de la ganadera. Esto produjo un desplazamiento de los tradicionales sistemas mixtos hacia esquemas agrícolas más intensivos, lo que derivó en una mayor presión sobre el recurso suelo.

Las consecuencias de ello han sido la pérdida de la estructura del suelo, erosión, disminución de la capacidad de infiltración de agua y las tendencias declinantes que se observan en los contenidos de materia orgánica y en el nitrógeno total de los suelos, siendo necesaria una restitución cada vez más marcada con fertilizantes sintéticos (Michelena, 1989; Gudelj, 2006).

Esta degradación de los suelos ha afectado vastos sectores de nuestra región productiva (Viglizzo, 1995), asociado en la mayor parte de los casos, al abandono de las rotaciones programadas, reemplazadas por un mayor empleo de aquellos cultivos con mayor rentabilidad, incidiendo fuertemente en esto, el sistema de tenencia/utilización de la tierra y la superficie de los establecimientos (Forján, Manso, 2011).

## *Contaminación del ambiente*

Otra característica es la necesidad creciente de combustibles y otros insumos dependientes de energía ajena al sistema de producción (agroquímicos). Si bien los rendimientos de los cultivos han aumentado en los últimos años, cada vez se requiere más energía para producir aumentos en los rendimientos y en consecuencia, la eficiencia energética disminuye (granos cosechados por unidad de energía utilizada).

Directamente relacionado a un uso indiscriminado de agroquímicos está la contaminación. Al ser la actividad agropecuaria una producción extensiva y prolongada en el tiempo, la contaminación puede medirse a través de variables que permitan estimar cómo el agro afecta el ambiente, por ejemplo mediante un indicador indirecto como es la tasa de consumo de agroquímicos por hectárea, o el impacto sobre la salud de agricultores y población en general, o por la resistencia creciente a los pesticidas por parte de plagas y patógenos (Sarandón, 1995). Nuestro país aún se encuentra entre los de mediano uso de agroquímicos, pero con un aumento marcado en los últimos años (Casafe, 2011).

Los modelos agrícolas vigentes en la mayor parte de las regiones productoras del mundo, han estado basados en el uso y consumo de energía, con la destrucción y el deterioro de algunos recursos naturales, causando severos efectos ambientales de distinta naturaleza (Maxwell, 1995; Altieri; Nichols, 2007).

Se puede inferir, a partir de estos datos, que los problemas de contaminación con agroquímicos se agudizan en las agriculturas más intensivas y dependientes del uso de insumos.

## *Destrucción de la biodiversidad*

La pérdida de biodiversidad es un problema que preocupa no sólo a los ambientalistas sino a la comunidad en general. Cada especie juega un rol en el equilibrio ecológico y su extinción equivale a la pérdida de un archivo genético único e irrecuperable, que reúne información de cientos de años producto de su evolución y adaptación al ambiente (Rabbinge, 1995).

Además de la desaparición de especies animales y vegetales, la pérdida de variabilidad genética de los principales cultivos se vislumbra como una situación de riesgo para el desarrollo de futuros sistemas de producción estables (Altieri, 2012). Al sembrarse grandes regiones con un mismo cultivo y dentro de éste con una variedad que se haya destacado, cualquier susceptibilidad a una plaga, patógeno o condiciones desfavorables, puede provocar la pérdida total de la producción, aumentando el factor riesgo del sistema, con el consecuente perjuicio para la región.

### *Hacia una agricultura productiva y sostenible en la región centro-sur de Buenos Aires*

El uso que se da a los suelos en una zona determinada, es la resultante de factores muy diversos entre los cuales son importantes la aptitud de los mismos y el desarrollo tecnológico del área en cuestión. El ambiente que predomina en la región mixta cerealera del sur bonaerense (área de influencia de la Chacra Experimental Integrada Barrow) es sumamente apto para el crecimiento y desarrollo de un variado número de cultivos. Esta gran diversidad de posibilidades agrícolas, asociada a la integración con una ganadería de ciclo completo, hace que en esta región puedan convivir sistemas productivos con altas exigencias y permanente demanda de tecnología.

La información generada por los ensayos de larga duración existentes en la Chacra Experimental Integrada Barrow, ha contribuido, en gran medida, al desarrollo y a la implementación de las estrategias de manejo propuestas, para ser utilizadas en forma económica y viable en los sistemas de producción de la región.

La planificación de rotaciones y diversificación de cultivos ha constituido un eficaz elemento de gestión para el funcionamiento de las empresas agropecuarias. Aplicar una propuesta adecuada a cada agroecosistema, ha permitido programar en forma eficiente la utilización de los recursos y optimizar los rendimientos dentro de un esquema sostenible.

Sin embargo, en los últimos años, distintos factores han incidido para evitar que se adopte esta práctica tecnológica en forma generalizada. El cambio en el manejo del sistema de producción tuvo fuerte repercusión, entre otras cosas, en el aumento de la dimensión y escala de trabajo de algunas empresas agropecuarias y en la desaparición de otras. Se amplió de manera significativa el uso del suelo por parte de terceros (contratos de siembra, arrendamientos) muchos de los cuales se efectivizaron en plazos cortos (duración anual). Este proceso, indefectiblemente, acentuó el planteo agrícola dentro del sistema de producción regional y limitó el diseño de rotaciones o secuencias adecuadas a cada situación (Forján, Manso, 2005).

El notable incremento de la superficie asignada al cultivo de soja en la última década se enmarcó en este proceso, acentuando la menor diversidad en las secuencias a través de la elección del cultivo que presentó la mayor rentabilidad.

### **Tecnologías de insumos**

El proceso de "agriculturización" ha sido acompañado por la evolución y el empleo de tecnologías que se han basado en la utilización de insumos y equipamiento de última generación. El avance genético logrado a través de un mayor potencial de rendimiento y la incorporación de biotecnología, el empleo de nuevos herbicidas específicos para cada cultivo, la aplicación de mayores dosis de fertilizantes y la aparición de moderna maquinaria, han sido factores decisivos que acompañaron esa tendencia a aumentar los rendimientos y prolongar los ciclos agrícolas, en la búsqueda de mayor rentabilidad (INTA, 1991).

Los fundamentos de esta tecnología se basan en un alto consumo de energía, elevado empleo de agroquímicos, manejo intensivo, y tendencia a lograr un permanente aumento del rendimiento con la incorporación de todas las últimas innovaciones. La agricultura moderna se ha apoyado en el uso intensivo de insumos, que son tecnologías de tipo material, que se compran en los proveedores y se aplican directamente (Tabla 9.1). Generalmente su adopción es rápida, apuntalada por un agresivo sistema de marketing, y su aplicación es sencilla realizándose en un momento preciso del ciclo de los cultivos (Viglizzo, 1994).

Gran parte de las empresas agropecuarias de la región han incorporado el manejo tecnológico en mayor o menor medida y han logrado importantes aumentos de productividad con impactos económicos relevantes (Forján, Manso, 2007).

En los últimos años, esta inclinación hacia la agricultura ha estado acompañada por factores poco favorables. Inestable valor de la producción, aumento en el precio de los insumos y por ende disminución de la rentabilidad, han transformado a estos sistemas en más inestables y riesgosos. Como consecuencia de este proceso, aquellas empresas que han evolucionado con poco margen de diversificación, están quedando cautivas de las tendencias económicas predominantes. A medida que la rentabilidad disminuya, se verán forzadas a incrementar la presión sobre los recursos naturales, con altas probabilidades de aumentar la contaminación y la degradación de sus sistemas de producción (Altieri, 2012).

Tabla 9.1: Uso de insumos y labores en dos sistemas de producción durante 10 años para una rotación girasol/trigo/maíz/girasol/trigo por 2 ciclos. Fuente: Ensayo rotaciones con diferente labranza CEI Barrow.

|   |                  | LC     | SD     |
|---|------------------|--------|--------|
| Fertilizantes<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | N (Urea)         | 725,0  | 925,0  |
|   | P (PDA)          | 720,0  | 845,0  |
| Herbicidas<br>(l.ha <sup>-1</sup> )     | Glifosato        | 0,0    | 42,0   |
|   | Flurocloridona   | 5,0    | 5,2    |
|   | Acetocloro       | 9,0    | 9,2    |
|   | Graminicida      |        | 1,2    |
|   | Atrazina         | 6,0    | 6,0    |
|   | 2,4-D            | 0,1    | 0,4    |
|   | Dicamba          | 0,4    | 0,4    |
| Insecticidas<br>(l.ha <sup>-1</sup> )   | Metsulfuron      | 26,8 g | 26,8 g |
|   | Lambdacialotrina |        | 0,3    |
|   | Cipermetrina     | 0,2    | 0,2    |
| Labores (Eq.Ar.ha <sup>-1</sup> )       |                  | 47,7   | 23,4   |

Eq. Ar.ha<sup>-1</sup>: equivalente arada. Representa el costo de arada de una hectárea, que es utilizado como base de cálculo para estimar el costo de otras labores, las que se expresan en términos relativos a la arada.

## Tecnologías de procesos

Otras empresas, en cambio, han evolucionado buscando alcanzar una situación que no se basa en maximizar los rendimientos de los cultivos, sino en lograr una alta eficiencia de todo el sistema de producción. Esto se ha conseguido reemplazando parcialmente las tecnologías de insumos por las llamadas “tecnologías de procesos”. Estas presentan un fuerte componente de información, conocimiento y eficiencia incorporada, con una aplicación casi personalizada por parte del productor o asesor. Coexisten en esta categoría todas las tecnologías de manejo (de cultivos, de suelos, de plagas, de pasturas, de rodeos, etc.) y el gerenciamiento de actividades más complejas como el asociativismo (en producción, comercialización, etc.), a fin de mejorar la competitividad frente al mercado. Estas tecnologías se asocian a emprendimientos de largo plazo, que son estructurales más que coyunturales (Viglizzo, 1994).

Hoy no podemos hablar sólo de maximizar beneficios sino también de minimizar riesgos. Es necesario volver a un sistema diversificado de producción, lo cual implica tener conocimientos sobre distintas actividades y en base a esa información, aplicar el manejo adecuado (Forján, Manso, 2011).

En una agricultura sustentable, los insumos no pueden ser totalmente sustituidos por procesos. Pero las tecnologías de procesos deben ser intensificadas para optimizar la aplicación de tecnologías de insumos, resguardando al mismo tiempo los efectos negativos sobre el ambiente y los recursos naturales (Sarandón; Flores, 2009).

## Los ejes de la sustentabilidad: siembra directa, rotación de cultivos y fertilización.

El uso del suelo debe estar orientado a lograr una mayor estabilidad en el largo plazo. En esta línea, la rotación de cultivos anuales con praderas permanentes (sistemas mixtos agrícola-ganaderos), es un sistema viable por sus ventajas en la reducción de la erosión y mejora de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, disminución del uso de agroquímicos y diversificación del riesgo productivo, resultando la base para realizar posteriormente, una agricultura sustentable (Forján, 2000).

No obstante, si los esquemas se vuelven cada vez más agrícolas, es necesario tomar una serie de recaudos para manejar con responsabilidad el sistema de producción. Considerando las características edafo-climáticas de la región, se hace necesario ajustar la demanda de los cultivos a la oferta del ambiente, para lo cual el empleo de técnicas que mejoren la economía del agua, resulta de imperiosa necesidad. La **siembra directa** mejora sustancialmente la infiltración, disminuyendo las pérdidas por evaporación, a la vez que reduce en forma marcada la erosión. Las dudas que se plantearon en el momento de su adopción en la región, referidas a la posibilidad de acumular grandes volúmenes de rastrojos en superficie que complicaran el manejo por su lenta descomposición, fueron totalmente descartadas en la medida que se sucedieron varios años con esta técnica (Tabla 9.2) y donde los residuos no resultaron un problema para el sistema de producción.

Tabla 9.2: Producción y perdurabilidad de rastrojos en siembra directa ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

| Secuencia | Ciclo 1               |                      |             | Secuencia | Ciclo 2 |                       |                      |             |
|-----------|-----------------------|----------------------|-------------|-----------|---------|-----------------------|----------------------|-------------|
|           | Total acum. 1998-2003 | Remanente otoño 2004 | % remanente |           | Fertil. | Total acum. 2044-2009 | Remanente otoño 2010 | % remanente |
| 1         | 21273                 | 2819                 | 13,2        | 1         | N1      | 23875                 | 2125                 | 8,9         |
|           |                       |                      |             |           | N2      | 25280                 | 2195                 | 8,7         |
| 2         | 14440                 | 2795                 | 19,3        | 2         | N1      | 31430                 | 1770                 | 5,6         |
|           |                       |                      |             |           | N2      | 33425                 | 1814                 | 5,4         |
| 3         | 20005                 | 2572                 | 12,8        | 3         | N1      | 23860                 | 1654                 | 6,9         |
|           |                       |                      |             |           | N2      | 26015                 | 1649                 | 6,3         |
| 4         | 25992                 | 2567                 | 9,9         | 4         | N1      | 22500                 | 2140                 | 9,5         |
|           |                       |                      |             |           | N2      | 23495                 | 2248                 | 9,6         |
| 5         | 31392                 | 3061                 | 9,7         | 5         | N1      | 23350                 | 1626                 | 7,0         |
|           |                       |                      |             |           | N2      | 24135                 | 1612                 | 6,7         |

Fert.: N1 y N2 diferentes dosis de fertilización nitrogenada

La implementación de prácticas como la siembra directa, altamente eficiente en controlar la erosión e incrementar el contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo, no sería suficiente para lograr una agricultura sustentable si no implementamos **rotaciones** adecuadas a cada ambiente productivo. La secuencia diagramada debe contener un fuerte componente de gramíneas (alta relación C/N), que aseguren un elevado aporte de rastrojos y presenten balance positivo de la materia orgánica del suelo, aumentando la sostenibilidad del sistema (Figura 9.1).

No está mal que la soja se integre a las secuencias de cultivo de la región por su aporte a la diversificación. Lo negativo es que los esquemas agrícolas se concentren en la oleaginosa principalmente, por la posibilidad de obtener una mayor rentabilidad en el corto plazo con una baja inversión de recursos.

Los cultivos que integren la secuencia deben ser coherentes en cuanto a diversificación e intensidad en relación al ambiente productivo. Esto permitirá favorecer la conservación del suelo, mejorar la economía del agua, disminuir la variabilidad de los rendimientos y obtener mayores beneficios de la fertilización.

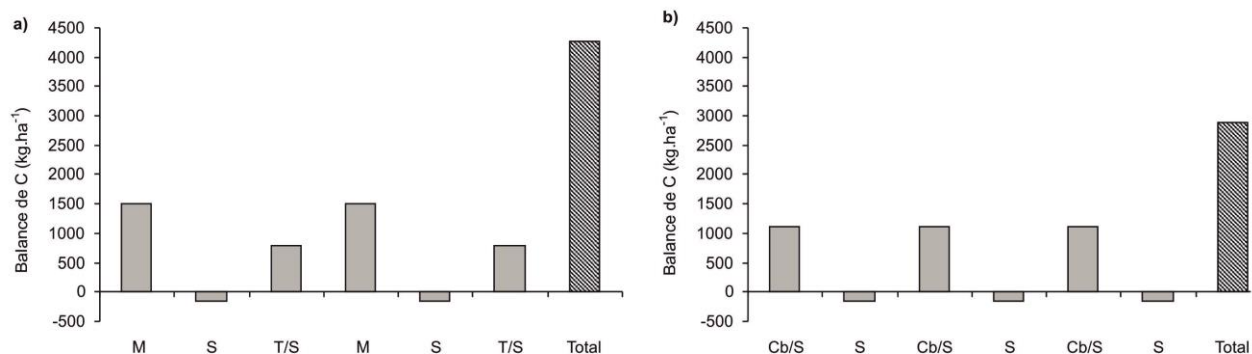


Figura 9.1: Balance de Carbono para dos rotaciones bajo siembra directa. (M: maíz; S: soja; T/S: trigo/soja de 2ª; Cb/S: cebada/soja de 2ª).

La falta de una fertilización balanceada, los bajos niveles de reposición de nutrientes del suelo, sumados a la pérdida de materia orgánica, conducirán inexorablemente a una disminución considerable de la fertilidad de los suelos y por lo tanto, de la sustentabilidad física, ecológica y económica de algunos establecimientos agrícolas del sur bonaerense.

Es necesario realizar una **fertilización** acorde a las demandas de los cultivos y a los niveles de extracción, programándola en forma adecuada en la rotación. En este sentido resulta de suma importancia el conocimiento de los balances de nutrientes para poder reponer lo extraído por los granos, de modo que los sistemas de producción se mantengan sustentables y productivos en el tiempo.

#### Otros aspectos a considerar

Para determinar el resultado económico de la empresa agropecuaria, es necesario evaluar el modelo productivo tomando ciclos de varios años para determinar el margen global de la rotación. Esto permitirá un enfoque amplio del sistema, valorando la presencia de cultivos que efectúan aportes valiosos al mismo, aunque su rentabilidad puntual no sea la más favorable (por ej.: maíz). Las empresas agropecuarias de la región que están implementando este tipo de modelo, aparecen mejor adaptadas y reflejan una mayor elasticidad para recuperar el equilibrio ante variaciones o disturbios, ya sea de tipo económico o climático que últimamente, y en forma casi constante, afectan a la actividad.

En la Tabla 9.3 se presenta el análisis realizado a los 10 años de una secuencia Girasol/Trigo/Maíz/Girasol/Trigo durante 2 ciclos con diferentes sistemas de labranza. Se usaron los márgenes brutos agrícolas, considerando los costos directos (desagregados) de las actividades y el valor de la producción, determinándose la diferencia entre ambas. La valuación de insumos y productos se hizo con precios de la campaña 2010/2011 y la unidad de cálculo fue la hectárea.

Tabla 9.3: Rentabilidad de la rotación (10 años). Evaluación ex post de una secuencia con laboreo y ensiembra directa (\$·ha<sup>-1</sup>).

|                        | Labranza convencional | Siembra directa | Diferencia |
|------------------------|-----------------------|-----------------|------------|
| Ingresos               | 23.441                | 21.060          | 2.381      |
| Labores                | 6.455                 | 2.635           | 3.820      |
| Semilla                | 18.620                | 1.860           | 0          |
| Agroquímicos           | 3.315                 | 4.211           | 896        |
| Cosecha                | 2.079                 | 2.079           | 0          |
| Comercialización       | 3.506                 | 3.213           | 293        |
| <b>A favor Directa</b> |                       |                 | <b>837</b> |

Fuente: Ing. Agr. M. Borda sobre información del Ensayo rotaciones con diferente labranza CEI Barrow Período 1997-2006.

## Conclusiones:

### “Mantener las rotaciones, nuestra responsabilidad con el proceso productivo”

Obtener sistemas agrícolas de bajos insumos, diversificados y eficientes en el uso de la energía, resulta una preocupación para investigadores y agricultores en el mundo entero. El desafío que se presenta para los próximos años va a estar orientado a tratar de alcanzar un aumento de la productividad de los sistemas agropecuarios en concordancia con la conservación de los recursos naturales.

Para ello, es importante conciliar las necesidades de corto plazo que obedecen a la rentabilidad, con las de mediano y largo plazo que apuntan a la sustentabilidad del sistema de producción. Se debe alcanzar un equilibrio entre producción y conservación. Es un error conceptual definir estrategias agronómicas y empresariales basadas en el análisis económico de los márgenes por cultivo, ya que a menudo nos llevan a un camino equivocado con resultados productivos en decadencia, y en el largo plazo, inestabilidad empresarial.

La actual producción agropecuaria exige un mejor conocimiento de los componentes del agroecosistema (físicos, biológicos y socioeconómicos), de las interrelaciones que ocurren entre ellos y el impacto ambiental que estos producen.

Ya no se debería avanzar hacia una tecnología de insumos, intensiva en capital y en técnicas relativas a los componentes individuales (cultivo, maleza, plaga o nutriente), sino hacia una tecnología que abarque al sistema en



general, teniendo en cuenta las interacciones de todos sus componentes. El término sustentabilidad implica una agricultura racional, la cual pretende mantener la capacidad productiva del sistema. El objetivo central no es alcanzar un rendimiento máximo sino una estabilidad de largo plazo.

En esto, el productor agropecuario juega un papel fundamental, ya que el contexto social, económico y político que lo rodea, afecta y condiciona sus decisiones. De nada vale producir de manera económicamente rentable cuando se degradan los recursos. Es necesario incorporar el costo ecológico para lograr alcanzar una producción sostenible en el tiempo, que sea económicamente viable y financieramente posible.

La tecnología que se emplee debe ajustarse a la realidad de la zona y ser factible de aplicación, lo cual está directamente relacionado con la capacidad y posibilidad de adopción que tengan los productores. Técnicas de manejo y conservación de suelos, agua, energía y recursos biológicos no deben estar ausentes.

Entre los puntos principales deberá tender a una menor dependencia del uso de insumos externos (plaguicidas, fertilizantes sintéticos) haciendo más eficiente el empleo de la energía (labranzas conservacionistas), minimizando la pérdida de nutrientes del suelo que se podrán reponer a través de rotaciones con pasturas perennes y fertilización.

Se deben aprovechar los procesos naturales generados a partir del propio manejo, como incorporación de rastrojos, reciclaje de materia orgánica y nutrientes, y fijación de nitrógeno. Para alcanzar rendimientos elevados será necesario el empleo de fertilizantes en forma eficiente de acuerdo a la demanda y momento de utilización de cada cultivo.

Se debe aumentar al máximo el uso productivo del agua almacenada en el suelo, evitando el escurrimiento y mejorando la infiltración de las precipitaciones.

La aplicación de pesticidas se debe efectuar conociendo el ciclo de las plagas y efectuando un uso más racional y eficiente de los productos. El control de malezas debe tener en cuenta la residualidad y su posible efecto contaminante. Estos controles químicos deben ajustarse a un manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas, articulado con rotaciones que corten sus ciclos biológicos, realizados fundamentalmente con el menor impacto sobre el ambiente.

La diversificación del sistema podrá ser mejorada en el tiempo mediante rotaciones y secuencias de cultivos diversificadas, y en el espacio, en forma de cultivos de cobertura, intercultivos, sistemas agrícola-ganaderos.

Todo esto va a permitir alcanzar una mayor estabilidad del sistema de producción, disminuyendo las posibilidades de riesgo que se presenten debido a variaciones en el clima o de mercado.

En consecuencia, el objetivo futuro de alta productividad que se requiere para generar alimentos deberá estar respaldado por una tecnología que concilie mayor productividad con calidad y conservación de los recursos.

La aplicación de la misma será factible siempre y cuando esté acompañada por relaciones adecuadas entre los precios de los productos, el costo de los insumos y la carga impositiva que permitan mantener la rentabilidad del sector. A su vez, será necesario contar con leyes que regulen el uso de los recursos y organismos que controlen su cumplimiento.

En consecuencia, surge la necesidad de evolucionar hacia sistemas agropecuarios sostenibles, tanto en lo ecológico, como en lo económico y social, aprovechando los recursos naturales de acuerdo a su aptitud y buscando rotaciones de cultivos ambientalmente amigables y económicamente atractivas.

Las decisiones que se tomen en la búsqueda de una agricultura rentable deben estar contempladas dentro de procesos racionales donde resulta fundamental conocer cuáles son las limitaciones de cada sistema de producción, las alteraciones que se producen sobre el mismo y en base a ello, aplicar prácticas de manejo que recuperen el potencial productivo y permitan seguir avanzando con una visión integral que atenúe los riesgos.

Por lo tanto, es importante considerar el análisis de todo el sistema de producción y a partir de allí, evaluar los posibles caminos a seguir que permitan aprovechar las enormes posibilidades que ofrece la incorporación de tecnología para contribuir al desarrollo de un sistema agrícola sustentable, tan importante para el futuro de la región.

#### **“Es necesario que la productividad de los cultivos y la rentabilidad de la empresa interactúen con el principio de sustentabilidad”**

Existe aún necesidad de investigación básica y aplicada para entender mejor los beneficios de las rotaciones. Encontrar respuestas a los nuevos interrogantes que van sucediendo en cada cultivo, o a aspectos novedosos de los sistemas agrícolas modernos, han sido y serán un desafío que la CEI Barrow, a través de sus ensayos de rotaciones, debe seguir evaluando.

Se espera que esta publicación refuerce el uso y adopción de esta técnica agronómica que es económicamente viable, ambientalmente sustentable y socialmente aceptable. A su vez, que apoye el mejoramiento de una oferta diversificada de materias primas, que permita aumentar la competitividad del sector y satisfacer la exigente demanda de los mercados actuales.

#### **Bibliografía:**

- ALTIERI M., 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. Agricultura técnica (Chile) 54 (4): 371-386.
- ALTIERI M., NICHOLLS C. I., 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. Publicado en Revista Ecosistemas. 2007/1. <http://www.revistaecosistemas.net>
- ALTIERI M., 2012. El rol ecológico de la biodiversidad en agroecosistemas. <http://www.clades.cl/revistas/4/rev4art1.htm>
- ANDRADE F. A., 2011. La tecnología y la producción agrícola. El pasado y los actuales desafíos. Ediciones INTA. EEA Balcarce, Centro Regional Buenos Aires Sur.
- CASAFE, 2011: Guía de productos sanitarios para la República Argentina. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes.

- FORJAN H. J. 2000. Rotaciones en sistemas mixtos: La pastura perenne base de la agricultura sustentable en la región. Material Didáctico N° 1. Chacra Experimental Integrada Barrow.
- FORJAN H. J.; MANSO M. L., 2005. La expansión agrícola en la región: una señal de alerta. Publicación AgroBarrow N° 32.
- FORJAN H. J.; MANSO M. L., 2007. Hacia una agricultura productiva y sostenible en la región sur de Buenos Aires. Publicación AgroBarrow N° 39
- FORJAN H. J.; MANSO M. L., 2011. Hasta donde podemos llegar con la soja?. Publicación AgroBarrow N°49.
- GUDELJ V., GALARZA C., FERRARI M., SENIGAGLIESI C., BERARDO A., DARWICH N. y ECHEVERRIA H., 2006. La fertilización en cultivos extensivos de la región pampeana argentina: aportes del INTA. Informaciones agronómicas del cono sur. Inpofos 30: 19-21.
- INTA. SEMINARIO JUICIO A NUESTRA AGRICULTURA, 1991. Hacia el Desarrollo de una Agricultura Sostenible (INTA). Hemisferio Sur, Buenos Aires. Conclusiones.
- MAXWELL J. 1995. Enfoques comparados sobre el uso de tierras en las agriculturas tradicionales y modernas. En: II Seminario Internacional. Desarrollo Agropecuario sustentable. INTA-INDEC. (16 Pp.).
- MICHELENA, C.; IRURTIA C. B.; VAVRUSKA F. A.; MON R.; PITTALUGA A. 1989. Degradación de suelos del Norte de la Región Pampeana. Publicación Técnica 6. INTA. Centros Regionales Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe. Proyecto Agricultura Conservacionista.
- RABBINGE, R. 1995. Fundamentos estratégicos para el uso sustentable del territorio. En: II Seminario Internacional. Desarrollo Agropecuario sustentable. INTA-INDEC. (4 Pp.).
- SARANDON S. 1995. Aplicación del enfoque Agroecológico en sistemas extensivos de producción. Agroecología y desarrollo N° 9.
- SARANDON, S. 2002. La agricultura como actividad transformadora del ambiente. En: S. Sarandón (editor). Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. Ed. Científicas Americanas, La Plata.
- SARANDON S., FLORES C. C., 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. Agroecología 4: 19-28, 2009. Fac. Ciencias agrarias y forestales. UNLP
- VIGLIZZO E. F. 1984. Limitaciones agroecológicas al desarrollo de sistemas de producción. Rev. Argentina de Producción Animal. Vol. 4, N° 10 (1049-1079)
- VIGLIZZO E. F. 1994. El INTA frente al desafío del desarrollo agropecuario sustentable. En: Desarrollo Agropecuario Sustentable. 1er. Seminario. Estrategias para el uso agropecuario del territorio. INTA-INDEC (Pp.1-21).
- VIGLIZZO E. F., VERDE L., 1995. Actas del II Seminario Internacional. Desarrollo Agropecuario Sustentable. Estrategias para el uso agropecuario del territorio. INTA-INDEC.

Imágenes de los ensayos





# Apéndice

---

*Trabajos presentados en Congresos de alcance Nacional e Internacional y Tesis de posgrado producidos a partir de información surgida de los ensayos de rotaciones de la CEI Barrow.*

---

## **Ensayo 0: ROTACIONES DE CULTIVOS: SISTEMAS MIXTOS Y AGRICULTURA PERMANENTE**

**XII Congreso Argentino de Producción Animal. Sección Producción de pasturas. Junio 1986.** Siembra asociada de una mezcla forrajera con trigo. Efecto sobre la implantación, producción de grano y de forraje. Forján, H. y Duhalde, J. AAPA (Asoc. Argentina de Prod. Animal). San Martín de los Andes.

Se evaluó la implantación, producción de grano de trigo y materia seca de la mezcla forrajera (alfalfa-festuca). Se emplearon diferentes épocas de siembra y distintas densidades de cereal y pastura. Los tratamientos asociados se cotejaron con testigos consistentes en trigo implantado sin la mezcla forrajera y ésta sin el cereal acompañante. En ambas épocas de siembra se obtuvo una muy buena implantación lográndose el mayor número de plántulas forrajeras con la mayor densidad. La presencia del trigo no afectó el número de plantas logradas. La producción de grano de trigo no fue reducida por la mezcla forrajera y sólo mostraron menores valores los tratamientos con baja densidad del cereal. En la producción de forraje posterior a la cosecha del trigo (febrero), la pastura sembrada a la menor densidad presentó valores inferiores a los restantes tratamientos. En los cortes siguientes se observó una tendencia a igualar la producción de materia seca en todos los tratamientos pues el valor acumulado en el año no presentó diferencias significativas entre tratamientos. Los resultados obtenidos indicaron la factibilidad de implantar la mezcla forrajera estudiada simultáneamente con trigo sin disminuir su rendimiento en grano. Se logró reducir costos de implantación y adelantar el período de inicio del pastoreo.

**III Congreso Nacional de trigo y 1er. Simposio Nacional de cereales de siembra otoño-invernal. 1994.** Efecto del cultivo antecesor y la fertilización nitrogenada sobre la producción y calidad del trigo. Forján, H. Dpto. Agronomía (UNS). Bahía Blanca.

El cultivo antecesor produjo diferencias que alcanzaron a 500 kg.ha<sup>-1</sup> entre los tratamientos extremos, siendo más marcadas en las secuencias sin fertilizar. La fertilización nitrogenada tuvo mayor incidencia que el antecesor, pues se detectaron diferencias promedio de 850 kg.ha<sup>-1</sup> entre los tratamientos con y sin agregado de urea, habiéndose dado la mayor respuesta en las secuencias de agricultura permanente y menor en aquellas cuyo antecesor fue pastura. La calidad del grano (proteína) respondió a la mayor presencia de N disponible en el sistema, dado en este caso por la inclusión de pasturas en la historia previa, al estar limitado el aporte por fertilización a 46 kg.ha<sup>-1</sup> de N (100 kg.ha<sup>-1</sup> urea). Las distintas rotaciones o secuencias de cultivos afectaron las propiedades físico-químicas del suelo. Los tratamientos agrícolas presentaron los valores más bajos de nitratos disponibles a la siembra, mientras que el contenido de MO aumentó hacia la situación con más años de pastura. Luego de 8 años de cultivos agrícolas la alteración en los índices de estabilidad de agregados fue muy alta para el tipo de suelo de nuestra región, agravándose en aquellas secuencias de cultivos que a su vez redujeron el tenor de MO (secuencia Trigo/Soja). La presencia de pasturas, dependiendo de su longitud, mejoró la estabilidad del sistema.

**III Reunión Nacional de Oleaginosos. Actas de la Comisión III. Producción. 1998.** Efecto de la historia agrícola del lote y el antecesor sobre el rendimiento y algunos parámetros de calidad en girasol. Forján, H.; Iriarte, L. y López, Z. (Pp.139-140). Dpto. Agronomía (UNS) - Asoc. Argentina de Oleaginosos. Bahía Blanca.

El cultivo de girasol en la región mixta cerealera del sur de Bs. As., resultó indiferente a la longitud de historia agrícola, cuando se presentaron años con condiciones climáticas normales o secas. En años con condiciones húmedas se observaron mejores rendimientos con historias agrícolas cortas. Por otro lado en un sistema mixto, el antecesor pastura presentó los rendimientos más bajos en un año con deficiencias hídricas, aunque no hubo diferencias cuando el año fue húmedo. Bajo agricultura permanente y condiciones húmedas, el antecesor de 3 años de trigo produjo los menores rendimientos, no observándose diferencias entre los otros antecesores. Con buena disponibilidad hídrica, las situaciones previas que implicaron un consumo continuo de nutrientes durante varios años, con bajo aporte de N en sus rastrojos, presentaron los menores rendimientos de girasol. La materia grasa difirió entre ambas historias sólo en el año normal. A mayores valores de aceite en la historia larga, le correspondieron menores porcentajes de proteína.

**III Reunión Nacional de Oleaginosos. Actas de Comisión IV. Producción. 1998.** Influencia de la historia del lote y el cultivo antecesor sobre el rendimiento y algunos parámetros de calidad en colza. Forján, H. e Iriarte, L. (Pp.205-206). Dpto. Agronomía (UNS) - Asoc. Argentina de Oleaginosos. Bahía Blanca.

Los resultados logrados luego de varios años de estudio sugieren que el cultivo de colza en la región presentó un comportamiento variable con las condiciones climáticas que se presentaron. En años extremadamente secos, los bajos requerimientos nutricionales hicieron indiferente el efecto de historia del lote o fertilización nitrogenada. Esta fue necesaria sólo cuando el antecesor resultó ser maíz, en un lote con historia agrícola prolongada. En años con condiciones climáticas que favorecieron al cultivo, la colza respondió a la fertilización nitrogenada, indistintamente del antecesor, en suelos con historias agrícolas largas. Esta fertilización fue necesaria cuando el antecesor inmediato fue maíz, también en situaciones que provenían de un lote descansado (pastura). Los porcentajes de proteína y materia grasa respondieron más a la variación de los rendimientos por condiciones climáticas que al efecto de la historia agrícola, el antecesor o la dosis de fertilización nitrogenada empleada, aunque cuando el antecesor fue maíz, la fertilización resultó importante aún en años secos para el componente proteína.

**IV Congreso Nac. de trigo y II Simposio Nacional de cereales de siembra otoño-invernal. Actas Comisión 3. 1998.** Trigo Candeal: Efecto de la historia del lote y el cultivo antecesor sobre el rendimiento y la proteína. Forján, H.; Molfese, E. y Seghezze M. L. Unidad Integrada Balcarce. Mar del Plata.

Los resultados alcanzados permitieron sugerir que el cultivo de trigo candeal en la región, presentó un comportamiento variable con las condiciones climáticas que se presentaron. En años extremadamente secos se enmascaró el efecto de una buena provisión de nutrientes (proveniente de pastura) o un cultivo antecesor favorable. En suelos con deficiencias de nutrientes, las fertilizaciones fosforada y nitrogenada fueron recomendadas, en general, para brindar al cultivo herramientas que le permitan sobrellevar situaciones hídricas desfavorables, tanto en rendimiento como en el nivel de proteínas. Cuando las condiciones favorecieron al cultivo, su implantación en lotes descansados, bien provistos de nutrientes o sobre cultivos previos de soja o girasol, permitieron una mejor expresión del potencial productivo del trigo candeal. La fertilización, especialmente nitrogenada, resultó fundamental para lograr rendimientos elevados con niveles de proteína adecuados. En el caso particular del cultivo de maíz como antecesor, sería indispensable ajustar las dosis y momentos de aplicación del fertilizante nitrogenado previo a la implantación del trigo, para evitar un balance de nitrógeno negativo desde las etapas iniciales del ciclo.

**IV Congreso Nac. de trigo y II Simposio Nacional de cereales de siembra otoño-invernal. Actas Comisión 3. 1998.** Historia del lote, cultivo antecesor y fertilización nitrogenada como factores de variación del rendimiento y la proteína en avena para grano. Forján, H. y Wehrhahne, L. Unidad Integrada Balcarce. Mar del Plata.

El cultivo de avena produjo importantes respuestas en producción de biomasa y rendimiento a la fertilización nitrogenada. De acuerdo a los resultados obtenidos, su siembra en suelos con mayor historia agrícola presentó las respuestas más significativas. En suelos descansados (con pastura cercana en su historia), si bien se observó respuesta, estas no resultaron estadísticamente significativas. En cuanto al cultivo antecesor, no se registraron diferencias entre todos los evaluados, aunque en la interacción con la longitud de la historia del lote, se observó un mejor comportamiento de la avena sobre rastrojo de girasol.

## **Ensayo 1: ROTACIONES DE CULTIVOS CON LABRANZAS**

**V Congreso Nacional de Trigo y III Simposio Nacional de cereales de siembra otoño primaveral. Mesa Ecofisiología y Manejo del cultivo. 2001.** Comportamiento del trigo en diferentes secuencias de cultivo en el sur bonaerense. Forján, H.; Zamora, M.; Seghezze, M. y Molfese, E. Fac. Agronomía, Univ. Nac. de Córdoba. Córdoba.

El efecto de los distintos antecesores sobre la producción de trigo se manifestó en algunos años principalmente por una modificación en la dinámica del N disponible. La inclusión de distintos cultivos previos produjo extracciones variables para cada secuencia. La presencia de cultivos con diferentes requerimientos de N incidió además sobre los contenidos de materia orgánica del suelo afectando la capacidad de proveer nutrientes. Las secuencias T/S y T/M/S presentaron los mayores niveles de exportación de N del sistema de producción.

**VII World Soybean Research Conference. Sección Manejo del cultivo. 2004.** Inclusión de soja en sistemas de cultivos: El balance de nutrientes. Forján, H.; Zamora, M.; Bergh, R.; Seghezze, M. y Molfese, E. - EMBRAPA. Foz do Iguazú, Brasil.

Se evaluaron 6 secuencias de cultivos durante un período de 10 años sobre un suelo representativo de la región mixta cerealera del sur de Buenos Aires (Argentina). Se aplicaron niveles de fertilización considerados medio-altos para la región. La incorporación en las secuencias de cultivos de verano (girasol, maíz y soja) en rotación con trigo, y los incrementos en los rendimientos provocaron elevados índices de extracción de nutrientes, principalmente N. El balance de este nutriente resultó negativo especialmente para el cultivo de soja, lo cual se explicó por el elevado porcentaje de proteína de su grano y el bajo aporte de fertilizante nitrogenado recibido. Esta notoria deficiencia de N para la soja, se dio aun considerando una fijación biológica de nitrógeno estimada en un 30% de lo exportado por el cultivo. La escasa cantidad y baja relación Carbono/Nitrógeno del rastrojo de soja no compensó el carbono mineralizado por el cultivo, provocando marcada disminución de la MO del suelo cuando un cultivo como la soja se repitió sobre un mismo lote durante varios años en rotación con trigo. Se concluyó que la inclusión de la soja resultó interesante por su aporte a la diversificación de los sistemas de producción de la región, pero alertó sobre el riesgo que los esquemas agrícolas se concentren en la oleaginosa por su impacto sobre la disminución de los valores de la MO del suelo.

**VIII Congreso Nacional de Maíz. 2005.** Aporte del maíz a la sustentabilidad de secuencias agrícolas en el sur bonaerense. Forján, H. J.; Zamora, M. S.; Bergh, R. G.; Seghezze, M. L. y Molfese, E. R. AIANBA-MAIZAR. Rosario.

Los altos rendimientos logrados con los cultivos provocaron una alta exportación de N, disminuyendo los niveles de MO del suelo, y haciendo que las secuencias evaluadas se vuelvan más dependientes de la aplicación de fertilizantes para satisfacer sus necesidades. El maíz, conjuntamente con la soja, resultó uno de los cultivos con mayor demanda de este nutriente. No obstante, la inclusión de maíz en las secuencias de cultivos comparadas, favoreció el contenido de MO del suelo, a través del elevado volumen de rastrojo que incorporó al sistema. Los valores de MO obtenidos en aquellas secuencias donde intervino el cultivo permitirían que se pueda prolongar el período agrícola con labranzas, especialmente si los cultivos son fertilizados con N.

Por esta razón, la presencia de maíz en las secuencias analizadas, resultó una alternativa de suma importancia ya que, además de presentarse como una opción de cultivo de alta productividad, favorecería la diversificación y estabilidad del sistema de producción en el largo plazo, contribuyendo al funcionamiento y mantenimiento de la calidad de los recursos y al potencial productivo de los suelos de la región.

### **3º Congreso Argentino de Girasol. 2005. ASAGIR. Buenos Aires**

1. **Secuencia de cultivos como factor de variación de rendimiento y calidad de grano en girasol.** Forján, H.; Bergh, R.; Zamora, M.; Seghezzo, M. y Molfese, E. - ASAGIR. Buenos Aires  
El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento del girasol sobre distintas secuencias de cultivos en años donde las condiciones hídricas fueron diferentes. Se compararon 3 campañas donde el cultivo de girasol presentó los mismos antecesores (1-92/93, 2-98/99 y 3-04/05). Los rendimientos alcanzados marcaron una independencia del cultivo con referencia al cultivo antecesor. Esta conclusión se reforzó teniendo en cuenta el amplio período de tiempo considerado (12 años) a través del cual los materiales elevaron su potencial de rendimiento y alcanzaron una mayor estabilidad frente a distintos ambientes. A pesar de las diferentes condiciones hídricas entre campañas, la disponibilidad en el perfil del suelo durante el ciclo del girasol no difirió entre las historias previas evaluadas (antecesor) con lo cual la evolución del cultivo fue similar para los tratamientos comparados. Parámetros como proteína del grano y materia grasa estarían reflejando, en mejor medida que el rendimiento, deficiencias de nutrientes por efecto del cultivo anterior.
2. **Exportación de nitrógeno por los cultivos: El caso del girasol.** Forján, H.; Iriarte, L.; Seghezzo, M. y Molfese, E.  
Se evaluó la exportación de nitrógeno (N) que se produce a través de los granos del cultivo de girasol en diferentes ambientes (suelo, clima) y su comparación con los distintos cultivos empleados en la región sur bonaerense, a fin de evaluar la magnitud de las remociones realizadas por cada cultivo. Se evaluaron distintas secuencias en agricultura permanente en comparación con las mismas situaciones en rotación con pasturas. Las muestras comparadas correspondieron a distintos años donde las condiciones climáticas durante el ciclo de los cultivos incidieron directamente sobre los rendimientos y el porcentaje de proteína de los granos. Se concluyó que el girasol presentó bajos niveles de extracción de N en grano comparado con los otros cultivos de verano ante diferentes situaciones productivas. Esa baja demanda produciría atenuados balances negativos de N con la consiguiente menor dependencia del agregado de fertilizantes. Esta característica hace que el cultivo, integrado a las secuencias regionales con trigo, colaboraría en el mantenimiento de una mayor estabilidad en los sistemas de producción en el largo plazo.

### **XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 1er. Reunión de suelos de la Región Andina. 2006. Asociación Argentina Ciencia del Suelo. Salta – Jujuy.**

1. **Balace de P y N en secuencias agrícolas del sur bonaerense.** Forján H.; Bergh R.; Zamora M.; Manso L.; Seghezzo M. y Molfese E. Trabajo nº 250. Comisión 3: Fertilidad de suelos y nutrición vegetal.  
Los rendimientos alcanzados provocaron diferentes exportaciones de P y N del sistema de producción de acuerdo a la secuencia evaluada. Soja y maíz resultaron los cultivos con mayor demanda de estos nutrientes. El balance de P permitió establecer que las dosis de fertilizante fosfatado empleadas para cada cultivo repusieron, en general, lo exportado con los granos. Con N los altos requerimientos de los cultivos, en especial soja, provocaron un déficit de ese elemento cuando se realizó el balance, aun considerando la fijación biológica de N. A través de los resultados obtenidos se propuso la implementación de secuencias de cultivos que no implicaran un balance negativo de nutrientes, estableciendo una adecuada programación de la fertilización, insertándola en forma eficiente en la rotación y adecuando las dosis a los niveles de extracción producidos, especialmente en los nutrientes con mayor respuesta económica.
2. **Efecto de diferentes secuencias de cultivo sobre algunas propiedades físicas del suelo.** Manso L., Zamora M. y Forján H. Trabajo nº 110. Comisión 1: Física, Química y Físico-química de suelos.  
La Dap solo mostró diferencias significativas entre tratamientos en los primeros 5 cm de profundidad. El menor valor lo presentaron las secuencias con mayor presencia de trigo (T/T/G y Monocultivo de T). Se observaron diferencias estadísticas en RP hasta los 15 cm. El monocultivo de trigo registró los menores índices en los 7,5 cm superiores, mientras que la pastura (suelo sin labranzas por 6 años) presentó los mayores valores. A partir de esta profundidad, y hasta los 12,5 cm, la pastura no difirió con los tratamientos T/M/S y T/S. Esta última secuencia fue la que exhibió mayor resistencia mecánica desde los 12,5 a los 15 cm. La Humedad edáfica no presentó diferencias entre las distintas rotaciones en el momento de muestreo, no afectando las otras variables edáficas relacionadas. Para las variables medidas en este ensayo, aquellas que registraron diferencias significativas entre secuencias no pudieron explicar los diferentes rendimientos obtenidos por el trigo en el último año de evaluación.
3. **Fraciones de Carbono orgánico en un Argiudol típico del centro sur bonaerense.** Mandolesi M.; Ron M.; Vidal L. y Forján H. Trabajo nº 130. Comisión 1: Física, Química y Físico-química de suelos.  
Además del fraccionamiento químico tradicional de las sustancias húmicas, se utilizaron técnicas basadas en el grado de oxidación de los compuestos orgánicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar fracciones químicas del carbono orgánico como indicadores de aspectos dinámicos de la calidad del suelo. Se determinó el C oxidable (COX) por el método estándar de Walkley y Black y se calculó el factor de oxidación tomando como oxidación total el COT. La oxidación del C aumentó en forma lineal con la concentración de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta cerca de 22 N. Esta pendiente no varió significativamente con los tratamientos dentro de cada ensayo, ni entre los ensayos. Efecto de la secuencia de cultivos. En COX12 los menores valores correspondieron a la rotación con mayor proporción del cultivo de soja. La inclusión del maíz en la rotación trigo/soja aumentó significativamente el COX18, COX24 y CO, pero no COX12. Este último no fue afectado por la proporción de cultivos invernales/estivales, lo que podría explicarse a través de la duración de los barbechos y las labranzas efectuadas en cada rotación. Efecto del sistema de labranza. El C orgánico fue mayor para las parcelas bajo SD siendo el aumento proporcionalmente mayor en las formas más fácilmente oxidables COX12, COX18. Las fracciones COX12 y COX18 determinadas en este estudio han sido correlacionadas significativamente con el N mineralizable y la estabilidad de agregados, característica común a formas lábiles de C, determinadas por otros métodos. Sin embargo COX12 no se asoció significativamente con el C orgánico particulado determinado sobre las mismas muestras en un trabajo anterior. COX12 fue sensible a distintos usos del suelo, con lo que podría constituirse en un indicador viable para monitorear la calidad del suelo, en particular considerando la posibilidad de incorporar la técnica a un análisis de rutina, dada la simplicidad de la determinación.

### **3º Congreso de Soja del Mercosur. Mercosoja 2006. Impacto de la inclusión de soja en secuencias agrícolas del sur bonaerense: El balance de nutrientes.** Forján, H.; M. Zamora; R. Bergh; L. Manso; M. Seghezzo y E. Molfese. Asociación de la Cadena de Soja Argentina. Rosario (Santa Fe).

La inclusión de soja en algunas secuencias agrícolas del sur bonaerense, determinó una fuerte extracción de N del sistema en

comparación con las restantes rotaciones durante el período evaluado. Sus altos requerimientos de nitrógeno provocaron un fuerte déficit cuando se realizó el balance, aun considerando la fijación biológica de N. Una mayor presencia de soja en la secuencia agrícola determinó también reducción de los niveles de M.O. Esta disminución de la fertilidad de los suelos durante el período evaluado estaría alertando sobre la sustentabilidad física, ecológica y económica de las explotaciones agrícolas de la región en el largo plazo. A través de los resultados obtenidos se propuso la implementación de secuencias de cultivos que no impliquen un balance negativo de la M.O.

**4º Congreso Argentino de Girasol. 2007.** Comparación de girasol y soja en rotación con trigo. Forján, H.; Bergh, R.; Zamora, M.; Manso, L.; Iriarte, L.; Appella, C.; Seghezzi, M. y Molfese, E. ASAGIR. Buenos Aires.

Se comparó el rendimiento de girasol y soja en rotación con trigo y su relación con parámetros productivos, climáticos y edáficos, durante un ciclo de 13 años. En los 6 ciclos (oleaginosa/trigo) evaluados, el rendimiento de girasol se asoció positivamente con las precipitaciones de diciembre/enero, mientras que el de soja lo hizo con las de enero. El trigo posterior no presentó diferencias en rendimiento ni proteína de grano debidas a la diferente oleaginosa empleada como antecesor. La materia grasa de girasol respondió positivamente con el aumento de las precipitaciones, mientras que en soja la relación fue inversa. La exportación de nutrientes (Fósforo y Nitrógeno) por los granos de soja presentó valores significativamente superiores a girasol para los rendimientos registrados. Esa diferencia fue muy marcada para N determinando balances negativos y disminución de la MO del suelo por lo que resultó una opción más inestable que girasol cuando la secuencia con trigo se repitió en el tiempo.

**3º Jornadas de Economía Ecológica. 2007.** Nitrógeno total según uso del suelo en un Argiudol típico del centro sur bonaerense. Mandolesi, M.; Ron, M. y Forján, H. Univ. Nac. De Tucumán. Asoc. Argentino Uruguaya de Economía Ecológica. S. M. de Tucumán.

Se estudió el efecto del uso del suelo sobre los niveles de N total (Nt) y su relación con el carbono orgánico (CO) en un Argiudol Típico del centro sur bonaerense. La fracción gruesa (FG) fue el 17% en peso de la muestra entera (ME). Nt y CO estuvieron en menor concentración en FG que en ME, lo que es coherente con la naturaleza de esta fracción. Sin embargo, la relación C:N no se diferenció significativamente entre FG y ME. El efecto de los tratamientos fue mayor sobre Nt y CO asociados a FG. Este se explicó en función de la calidad de los residuos aportados por las distintas secuencias de cultivos y la influencia del sistema de labranza. Los resultados confirman la importancia de la evaluación del Nt para una mejor comprensión de las transformaciones de la materia orgánica en el suelo.

**XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 2010.** Presentación oral. "Modificaciones en los niveles de materia orgánica por efecto de la secuencia agrícola". Comisión manejo y conservación de suelos y aguas. Forján, H.; Zamora, M. y Manso, L. - Asociación Argentina Ciencia del Suelo. Rosario (Santa Fe).

Se buscó determinar la posible variación en los niveles de Materia Orgánica (MO) ocurridos por efecto de distintas secuencias de cultivo empleadas durante un período de doce años y relacionar la magnitud del probable descenso con el aporte de residuos de cada secuencia. Se presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos en el aporte total de residuos, destacándose la secuencia compuesta exclusivamente por gramíneas. En todos los tratamientos se observó una disminución de la MO del suelo; la pérdida se incrementó cuanto mayor fue la presencia de soja en las secuencias. La relación entre el aporte total de residuos en 12 años y la caída de MO en la capa arable del suelo fue significativa, ajustándose a un modelo lineal. La contribución de las gramíneas se relacionó inversamente a la disminución de MO, mientras que esa tendencia no ocurrió para las oleaginosas. Se concluyó que la selección de los cultivos que integraron la secuencia resultó fundamental para atenuar las disminuciones en los niveles de MO de la capa arable de estos suelos. El predominio de gramíneas atenuó esas caídas mientras que una mayor presencia de oleaginosas, especialmente soja, contribuyó a provocar mayores pérdidas de MO.

**XIX Congreso Latinoamericano de Suelos y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 2012.** Evolución del contenido de materia orgánica en rotaciones agrícolas. Comisión manejo y conservación de suelos y aguas. Forján, H.; Manso, L. y Zamora, M. Asociación Argentina Ciencia del Suelo. Mar del Plata.

Para los suelos del centro-sur bonaerense en agricultura continua conducidos bajo labranza, la selección de los cultivos que componen la secuencia resultó fundamental para atenuar las disminuciones en los niveles de materia orgánica (MO) de la capa arable del suelo. Una mayor presencia de gramíneas disminuyó significativamente la magnitud de esas pérdidas. Por el contrario, el predominio de oleaginosas en la secuencia, especialmente soja, provocó mayores caídas de MO. Si bien en este caso la tasa de pérdida disminuyó hacia el último período evaluado, la magnitud de esa caída nos permite alertar sobre la pérdida de fertilidad de estos suelos. Frente al proceso de agriculturización que registra la región, se hace necesario diagramar secuencias con cultivos que eviten la posible degradación del recurso suelo y mantengan sustentable al sistema de producción.

## **Ensayo 2: SECUENCIA DE CULTIVOS EN SIEMBRA DIRECTA Y LABRANZA CONVENCIONAL SOBRE DISTINTA HISTORIA DE USO DEL SUELO**

Tesis de postgrado:

**Manso, M. L. 2010. Propiedades físicas y bioquímicas de un Molisol de Tres Arroyos bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza. Director Dr. Guillermo Studdert. Tesis Magister Scientiae en Producción Vegetal. Área de Postgrado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 78 p.**



El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diez años de agricultura continua bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) con diferente historia previa (pastura y agricultura continua), sobre algunas propiedades físicas y bioquímicas en la capa arable de un Paleudol Petrocálcico. En un ensayo de larga duración y en una situación no disturbada (Parque) se evaluaron densidad aparente (DAP), resistencia mecánica a la penetración (RMP), estabilidad estructural (EE) y carbono orgánico total, particulado (COP) y asociado a la fracción mineral. La DAP no difirió entre labranzas ni entre historias, así como tampoco entre los tratamientos y el parque. La RMP fue mayor bajo SD respecto a LC. La situación no disturbada presentó mayor RMP en superficie en comparación con los tratamientos. Siembra directa presentó mayor EE en comparación con LC, y en el parque ésta fue mayor respecto a los tratamientos. El contenido de COP fue superior en la condición no disturbada y no hubo diferencias debidas a la historia previa o a las labranzas. Luego de diez años de implementada la SD, no se observaron mejoras significativas respecto a LC en las propiedades evaluadas. La agricultura continua, independientemente del sistema de labranza empleado, ha originado compactación del suelo y pérdida de EE.

**Roldán, M. F. 2012. Distribución del carbono orgánico particulado por tamaño de agregados bajo distintos sistemas de labranza. Director Dr. Guillermo Studdert. Tesis Magister Scientiae en Producción Vegetal. Área de Postgrado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.**

En el Sudeste bonaerense se ha comprobado que la variación del C orgánico particulado (COP) es más sensible que la del total (COT) ante prácticas de manejo de suelo y cultivos contrastantes.

El conocimiento de la distribución del COP entre agregados del suelo de distinto tamaño y de la relación con su estabilidad como consecuencia de la intensidad de la labranza bajo distintas texturas, contribuye a la comprensión de la dinámica del C en el suelo para un manejo sustentable. El objetivo del trabajo fue evaluar la distribución y estabilidad de tamaños de agregados y de los contenidos de las fracciones de C orgánico en dos sitios representativos del Sudeste bonaerense (Barrow y Balcarce), bajo dos sistemas de labranza (SD y LC), sobre suelos con diferente textura en dos ensayos de similares características (año de inicio, secuencias, etc.). Tanto la distribución como la estabilidad de cada fracción de agregados fueron fuertemente influenciadas por el sistema de labranza.

Los macroagregados fueron más estables bajo SD que bajo LC, independientemente del sitio y a las profundidades analizadas pero, principalmente, en la capa superficial. Sin embargo la reducción en la estabilidad de los macroagregados respecto a la correspondiente situación pseudoprístina fue menor en Barrow que en Balcarce bajo ambos sistemas de labranza. Es decir que, a pesar de los mayores contenidos de COP en las distintas fracciones de agregados en Balcarce, el mayor contenido de arcilla en la fracción mineral fina de los suelos de Barrow estaría permitiendo una mayor protección del COP en los micro y macroagregados de Barrow respecto a los de Balcarce, aún cuando fueran expuestos a labranzas agresivas.

**Trabajos presentados en Congresos:**

**V Congreso Nacional de Trigo. III Simposio Nacional de cereales de siembra otoño-invernal. 2001.** Trigo candeal en siembra directa y labranza convencional sobre distinta historia de uso del suelo. Forján, H.; Quattrochio, A.; Zamora, M.; Bergh, R.; Báez, A.; Seghezzo, M. y Molfese, E. Fac. Agronomía. Univ. Nac. de Córdoba. V. Carlos Paz, Córdoba.

Se analizó el comportamiento de trigo candeal frente a dos sistemas de siembra: labranza convencional (LC) y siembra directa (SD) a partir de dos historia de uso del suelo previo. El rendimiento del trigo candeal no presentó diferencias entre los dos tipos de siembra confirmando su buena adaptación a la SD, cuando se registraron condiciones meteorológicas como las ocurridas en la campaña 1998/99. La condición hídrica del cultivo estuvo limitada en su última etapa, afectando una mayor expresión del rendimiento. Su cultivo en suelos con menor historia agrícola favoreció el nivel de nitrógeno del grano, mientras que bajo LC se incrementó la materia seca del rastrojo.

**2º Congreso Argentino de Girasol. 2003.** Evaluación de girasol en siembra directa y labranza convencional sobre distinta historia de uso del suelo. Forján, H.; Bergh, R.; Zamora, M.; Seghezzo M., y Molfese, E. ASAGIR. Buenos Aires.

Se presentaron diferencias entre labranzas en la disponibilidad hídrica y en el N disponible del suelo a la siembra del girasol. El N disponible en suelo descansado (P) fue mayor que agricultura continua (AC) en todos los años. El cultivo no mostró diferencias en la historia de uso del suelo con excepción del primer año donde en el tratamiento P el rendimiento y la humedad edáfica fueron menores a AC. Con relación al tipo de labranza, se observaron menores rendimientos bajo SD en los años con bajo déficit hídrico (campañas 1997/98 y 2000/01) y niveles similares de productividad en la campaña 2002/03 que presentó un mayor estrés hídrico. No se observó interacción uso del suelo x labranza en ninguna de las tres campañas. Bajo LC la proteína del grano resultó levemente superior a SD, efecto que no se observó entre las distintas historias de uso, provocando una mayor exportación de N del sistema de producción. La materia grasa del grano no reflejó variaciones para ninguna de las variantes estudiadas.

**VI Congreso Nacional de Trigo. IV Simposio Nacional de cereales de siembra otoño-invernal. 2004.** Trigo candeal: Comportamiento bajo diferentes sistemas de labranza en suelos con distinta historia agrícola. Forján, H.; Bergh, R.; Zamora, M.; Seghezzo, M.; Molfese, E. Dpto. Agronomía, (UNS). Bahía Blanca.

- En la siembra, se observó un mayor contenido de humedad y una menor disponibilidad de N en las situaciones bajo SD, en los tres años donde intervino el trigo candeal. La mayor oferta de N del antecesor pastura se diluyó en el último año de evaluación (séptima campaña del ciclo agrícola).
- En rendimiento de grano, el trigo candeal no presentó, en general, diferencias entre los dos tipos de siembra, confirmando su buena adaptación a la SD, pero requiriendo mayores niveles de fertilización nitrogenada. A medida que se avanzó en los años bajo SD, el tratamiento sobre un suelo con historia agrícola corta (pastura) superó al cultivado sobre un suelo con agricultura permanente.
- La proteína del grano disminuyó sensiblemente en el último año en respuesta a los mayores rendimientos obtenidos. No obstante se observó una tendencia, aunque no significativa, a favor de la LC y de los tratamientos efectuados sobre un suelo con menor historia agrícola.

- La materia seca del rastrojo reflejó condiciones similares a la proteína, observándose un menor aporte de rastrojos al sistema, de los tratamientos bajo SD cultivados sobre un suelo con mayor historia agrícola.

### **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 2008. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes (San Luis).**

1. Evolución del contenido de nitratos a la siembra para distintos sistemas de cultivo del sur de Buenos Aires. Comisión Fertilidad de suelos y Nutrición vegetal. Forján, H.; Zamora, M.; Manso L. y Bergh, R.  
Para el tipo de suelo en estudio y empleando una secuencia típica para la región, el suministro de N inicial varió con el manejo, fundamentalmente a través del sistema de siembra y en menor medida con la longitud del período agrícola previo.  
La SD presentó valores de mineralización de N inferiores a la LC confirmando su mayor dependencia de la fertilización. Esas diferencias se atenuaron cuando las distintas labranzas se compararon sobre un suelo con menor historia agrícola (antecesor pastura).  
La SD iniciada sobre un suelo más descansado suministró mayores niveles de N durante los primeros 6 años con respecto a comenzar la secuencia sobre un suelo con mayor historia agrícola previa.
2. Evolución de variables físicas bajo dos sistemas de labranza. Comisión Física, Química y Físico-química de suelos. Manso, L.; Forján, H.; Studdert, G.; Zamora, M. y Bergh, R.  
Las propiedades físicas son modificadas por las labranzas, por lo que se emplean para cuantificar cambios originados por los diferentes manejos. La compactación del suelo es valorada a través de la densidad aparente (DA) o de la resistencia a la penetración (RMP). Luego de diez años de establecido el ensayo de comparación de labranzas sobre dos antecesores, se observó un incremento de la DAP en subsuperficie y un aumento de la RMP en cada labranza con el transcurso de los años. La DAP fue mayor en las parcelas bajo SD y en aquellas provenientes con antecesor pastura. Los valores de RMP se incrementaron con los años y fueron en la mayoría de los casos superiores en las parcelas bajo SD. Los resultados obtenidos demostraron un incremento en la compactación de estos suelos con los años de agricultura y con la implementación de SD.
3. Carbono orgánico oxidable en muestras de suelo y fracciones granulométricas de un paleudol petrocálcico del centro sur bonaerense. Comisión Física, Química y Físico-Química de suelos. Mandolesi, M.; Ron, M.; Lucchi, P. y Forján, H.  
El objetivo general del fraccionamiento del carbono orgánico (CO) del suelo es obtener fracciones que puedan utilizarse como indicadores de la calidad y productividad edáficas. El objetivo específico de este trabajo fue comparar fracciones granulométricas con fracciones de diferente labilidad, estimadas con tres concentraciones de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Conjuntamente se realizó el monitoreo de las variables en el tiempo. Las fracciones lábiles estimadas con W-B modificado correlacionaron con FG y proveyeron resultados sensibles al manejo del suelo. El monitoreo del CO oxidable en las muestras reveló que entre el sexto y el noveno año de experimentación no hubo cambios apreciables para las parcelas del ensayo en estudio. En las parcelas bajo SD durante 9 años aumentó el CO oxidable, en las muestras de suelo y sus fracciones. Este efecto fue más contundente en el suelo con historia agrícola y para las formas más lábiles de CO. La SD causó, además, la estratificación diferencial del CO para FF y FG. La variación del CO con la profundidad fue evidente sólo para las formas más lábiles. La estimación del CO lábil con el método de W-B modificado (COX12) es un procedimiento sencillo y provee resultados significativos y sensibles al manejo del suelo.

### **VII Congreso Nacional de Trigo. V Simposio Nacional de cereales de siembra otoño-invernal. I Encuentro del Mercosur. 2008. Evolución de la producción de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. var. Durum) bajo diferentes sistemas de cultivo. Forján, H.; Zamora, M.; Manso, L.; Bergh, R.; Seghezzi, M.; Molfese, E. y Borda, M. Fac. Agronomía (Univ. Nac. de La Pampa) - INTA. Santa Rosa (La Pampa).**

El trigo candeal presenta variaciones interanuales en su rendimiento que, entre otras razones, han sido asociadas a la interacción genotipo-ambiente. En este trabajo se buscó evaluar a través de 10 años, su comportamiento bajo distintos ambientes productivos, correspondiendo la siembra de trigo candeal en los años 2, 5, 7 y 10 de la secuencia. La producción de biomasa aérea total registró en los primeros años un menor crecimiento vegetativo bajo SD con respecto a los tratamientos con laboreo, respondiendo a las diferencias encontradas para N a la siembra, mientras que entre historias sólo en el año 2 se observaron diferencias a favor del suelo proveniente de pastura. En rendimiento, el trigo candeal no presentó, en general, diferencias entre los dos sistemas de labranza, confirmando su buena adaptación a la SD, pero requiriendo mayores niveles de fertilización nitrogenada en esta situación. El tratamiento proveniente de antecesor pastura bajo SD superó al cultivado sobre un suelo con mayor historia agrícola en los tres primeros años donde intervino. Esta tendencia no se observó en LC. En el último año los rendimientos se igualaron por el balance hídrico negativo durante el ciclo del cultivo aunque posiblemente también por la pérdida del efecto benéfico de la pastura. En proteína del grano se observó un comportamiento irregular con valores superiores para los tratamientos bajo LC y sobre suelo descansado en los primeros años, tendencia que se revirtió en años secos y de menor rendimiento. Se concluyó que el trigo candeal varió su comportamiento en producción de biomasa aérea, rendimiento y proteína en grano de acuerdo al ambiente donde fue cultivado.

### **1º Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. 2010. Cambios en la tecnología de uso del suelo en el centro-sur bonaerense. Su efecto sobre parámetros edáficos relacionados con la economía del agua. Forján, H.; Manso, L. y Zamora, M. Inst. Hídrico de Llanuras, CIC Bs. As. – UNCPBA.**

La región en estudio presenta un régimen hídrico subhúmedo, el cual resulta deficitario en la mayoría de los años para satisfacer la demanda de los cultivos de invierno y verano. En los últimos años se produjo un marcado proceso de agriculturización, donde el empleo de siembra directa (SD) se difundió con el propósito de atenuar la pérdida del agua disponible. El objetivo de este trabajo fue estimar el cambio en el sistema de labranza empleado y en relación con esto, evaluar indicadores edáficos que mostraran la posible mejora en la disponibilidad hídrica al emplear SD. Para las 8 campañas analizadas, los resultados de la estimación mostraron un aumento de la implantación de cultivos de cosecha fina bajo SD de 20% a 54% y de 12% a 83% para los de cosecha gruesa. El seguimiento de parámetros edáficos marcó modificaciones en estabilidad estructural y resistencia mecánica, aumento de densidad aparente, mejora en infiltración y mayor disponibilidad hídrica para los tratamientos bajo SD a través de los años. Se concluyó que para los suelos de la región la adopción de prácticas conservacionistas como SD favorecen la acumulación de agua para los cultivos, mejorando la seguridad de cosecha de estos. A nivel región, esto se vio reflejado en una mayor adopción por parte de los productores.

### **IX Congreso Nacional de Maíz. Simposio Nacional de Sorgo. 2010. Historia del lote y fertilización nitrogenada como factores de variación de la producción de maíz bajo siembra directa y labranza convencional. Manso, M. L.; Forján, H. y Studdert, G. AIANBA-MAIZAR. Rosario, Santa Fe.**

El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de maíz bajo dos sistemas de labranza: SD y LC con la aplicación de distintas

dosis de fertilizante nitrogenado. En la campaña en estudio se registraron deficiencias hídricas en la mayor parte del ciclo, las que fueron de importancia previa y durante el período crítico del cultivo. La producción de biomasa aérea no fue afectada significativamente por la historia previa, por el tipo de labranza empleado, ni por la aplicación de N, a pesar de que el contenido de N-NO<sub>3</sub> en V6 se encontraba en valores cercanos al umbral de respuesta. La deficiencia hídrica en floración, determinó una menor demanda de N, lo que se tradujo en una reducida respuesta a la fertilización tanto para N en planta como en grano. En rendimiento no se registraron interacciones ni diferencias estadísticas del sistema de labranza, fertilización ni historia previa. Tomando en cuenta que el N no fue limitante, podría considerarse que el déficit hídrico sufrido durante gran parte del ciclo del cultivo, y principalmente durante el período crítico, fue el factor que limitó la productividad del maíz en la campaña 2007-2008, impidiéndole manifestar las posibles diferencias debidas a las distintas historias previas y sistemas de labranza empleados.

**2º Congreso Nacional de Ecología y Biología de suelos. 2011.** Efecto de la historia del lote y dos sistemas de labranza sobre las actividades enzimáticas y respiratorias de un suelo en el centro-sur bonaerense. Moreno V.; Silvestro, L.; Albanesi, A.; Bongiorno, F.; Forján, H.; Manso, L.; Berón, C. y Arambarri, A. CONEBIOS. Mar del Plata.

La importancia que ha adquirido la determinación de parámetros bioquímicos en suelo, tanto de las actividades enzimáticas, como de aquellos relacionados a la biomasa microbiana, se debe a que son esenciales en la funcionalidad del suelo. Este estudio consistió en determinar el efecto de dos sistemas de labranza, en un suelo con diferentes intensidades de uso previo, sobre el carbono oxidable; la actividad respiratoria y en la actividad fosfatasa, deshidrogenasa y ureásica del suelo. Se trabajó con muestras de suelo a 0-20 cm tomadas en diciembre de 2009, abril y agosto de 2010. No se evidenciaron diferencias significativas para las variables analizadas en diciembre de 2009. En abril de 2010, se observaron diferencias significativas en la actividad de los tres grupos de enzimas evaluados. La actividad deshidrogenasa y ureásica mostraron interacciones significativas y la actividad fosfatasa presentó diferencias significativas sólo entre diferentes historias agrícolas. En agosto de 2010, se detectaron diferencias significativas entre tipos de labranza para la actividad deshidrogenasa y entre historia de lotes y tipos de labranza para la actividad ureásica. Para el carbono oxidable y respiración basal del suelo no se observaron diferencias en ninguna de las épocas de muestreo. Se señala la alta sensibilidad de las enzimas deshidrogenasa y ureasa para detectar cambios entre tratamientos y subtratamientos, no así para la fosfomonoesterasa, CO y RB.

**Taller Efecto de las prácticas de manejo a largo plazo sobre las propiedades químicas del suelo. 2011. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (Comisión de Química) y Dpto. Agronomía (UNS) - CERZOS-CONICET. Bahía Blanca.**

1. Contenido de carbono orgánico bajo dos sistemas de labranza luego de diez años de agricultura continua. Manso, L. y Forján, H.

Uno de los indicadores más sensible a los cambios producidos por las prácticas de manejo es el contenido de materia orgánica (MO), y principalmente de su fracción lábil o particulada (MOP).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido de las distintas fracciones de carbono luego de diez años de agricultura continua bajo dos sistemas de labranza (SD y labranza convencional (LC)), habiendo partido de condiciones de manejo previo diferentes (pastura y agricultura continúa, COT 0-20 cm: 2.64 y 2.47 g.100 g suelo-1, respectivamente). Los resultados no mostraron interacciones ni efectos estadísticamente significativos de historia previa y del sistema de labranza ( $P>0,05$ ) para ninguna de las fracciones de carbono, a ninguna de las profundidades de muestreo. El aporte de residuos fue similar en los cuatro tratamientos, a través de los 10 años (4226, 3996, 4203 y 4060 kg.ha-1.año-1 de rastrojo para historia agrícola bajo LC y SD e historia de pastura bajo LC y SD, respectivamente), lo que podría estar explicando, junto con la escasa agresividad del sistema de LC empleado y el manejo cuidadoso de las labranzas, la falta de diferencias en los contenidos de C entre tratamientos, tal como sugieren varios autores.

Si bien en el momento del muestreo las diferencias no fueron estadísticamente significativas, el cambio producido desde la situación inicial y las tendencias observadas, sugieren la necesidad de continuar el estudio de la evolución del C bajo estos sistemas de producción contrastantes.

2. Evolución del contenido de nitratos a la siembra para distintos sistemas de cultivo del sur de Buenos Aires. Forján, H.; Zamora, M. y Manso, L.

El cambio hacia sistemas de producción agrícolas conducidos bajo siembra directa (SD) en la región sur de Buenos Aires planteó interrogantes en cuanto a la posible menor disponibilidad de N por mineralización con relación a los esquemas bajo labranza convencional (LC). Se encontró una mayor oferta bajo LC, observándose que la amplitud entre ambos sistemas fue menor cuando el suelo no tenía una historia agrícola previa prolongada. La mayor oferta de N inicial por efecto de una pastura previa se apreció hasta el año 6. Durante el período analizado la SD mineralizó un 47,8% menos N que la LC confirmando su mayor dependencia de la fertilización. Se concluye que para el tipo de suelo en estudio y empleando una secuencia típica en la región, el suministro de N inicial varió con el manejo, fundamentalmente a través del sistema de siembra y en menor medida con la longitud del período agrícola previo. La SD presentó valores de N inferiores a la LC diferencias que se atenuaron con un suelo más descansado.

### **Ensayo 3: ROTACIONES DE CULTIVOS EN SIEMBRA DIRECTA**

**VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de cultivos de siembra otoño invernal. 2004.** Diferentes secuencias de cultivos bajo siembra directa: Producción de trigo candeal. Forján, H.; Zamora, M.; Bergh, R.; Seghezzi, M.; Molfese, E. Dpto. Agronomía, (UNS). Bahía Blanca.

La baja recarga del perfil producida en el período previo a la siembra del trigo provocó ambientes diferenciados entre secuencias en cuanto a la disponibilidad de agua en el suelo. Esto produjo un efecto del cultivo antecesor que se vio reflejado en algunas secuencias, donde el trigo candeal alcanzó mayor biomasa aérea, número de espigas y rendimiento en grano. Las diferencias presentadas en rendimiento a favor de las secuencias provenientes de antecesor girasol, reafirman lo encontrado en ensayos previos para suelos ligeramente más profundos pero con labranza convencional. Si bien los valores de N-NO<sub>3</sub> a la siembra del trigo no difirieron entre las distintas secuencias, las diferencias entre ellas en el balance de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) a través de los cinco años previos, estarían incidiendo probablemente en el aporte por mineralización desde la materia orgánica del suelo durante el ciclo del cultivo. El menor rendimiento de la secuencia 5, estaría relacionado a la extracción de nutrientes producida por un mayor número de cultivos en la secuencia (especialmente soja). La mayor fertilidad potencial del suelo proveniente de pastura interactuó con la condición hídrica del mismo, logrando una mayor eficiencia de uso del agua a partir de la etapa de espigazón y anthesis, lo que permitió que el cultivo compensara con mayor peso de granos. A partir de la mejora hídrica al

final del ciclo se observó un mayor valor de proteína del grano en la secuencia 2, posiblemente en respuesta a un mayor potencial de mineralización de N desde el suelo.

**1º Congreso Latinoamericano y IV Argentino de la Conservación de la Biodiversidad. 2009.** Ocurrencia de hongos en un suelo agrícola bajo siembra directa con diferentes rotaciones de cultivos. Silvestro, L.; Moreno, V.; Forján, H.; Berón, C. y Arambarri, A. Fac. de Agronomía (Univ. Nac. de Tucumán). S. M. de Tucumán.

El sistema de siembra directa trae importantes cambios cuali-cuantitativos a nivel de suelo, puesto que la cobertura con rastrojos y la no remoción generan un hábitat con condiciones de humedad y temperatura específicas. Entender la respuesta de la comunidad fúngica del suelo al manejo de los agroecosistemas es un aspecto crucial. Se buscó evaluar la diversidad de los componentes fúngicos en cinco diferentes rotaciones. Utilizando los 5 cm superiores del suelo, mediante la técnica de lavado y posterior siembra de partículas en dos medios de cultivo, se obtuvieron 194 aislamientos fúngicos. Se identificaron 14 géneros, a los que se les calculó la frecuencia relativa respecto al total. En todos los tratamientos de observó la presencia de *Trichoderma* (18,3%), *Penicillium* (16,7%), *Fusarium* (13%), *Aspergillus* (7,32%) y *Nectria* (6,8%). En los tratamientos I, II y IV se observó *Rhizopus* (2,6%), en IV y V levaduras (17,8%), en I los géneros *Humicola* (1,04%) , *Phoma* y *Strachybotris* (0,5%). El 12% de los aislamientos fue asignado como Miceliasterilia, presente en todos los tratamientos.

**2º Congreso Nacional de Ecología y Biología de suelos. 2011. CONEBIOS. Mar del Plata.**

1. Caracterización biológica de un suelo agrícola del sudeste de la Pcia. de Bs.As. bajo siembra directa. Silvestro, L.; Moreno, V.; Albanesi, A.; Forján, H.; Bongiorno, F.; Berón, C. y Arambarri, A.

Las prácticas agrícolas modifican la dinámica de la materia orgánica, repercutiendo directamente sobre la actividad de los microorganismos que actúan en dichos procesos. Este estudio propuso aportar conocimientos acerca del efecto de diferentes rotaciones de cultivo, diferentes épocas y profundidades de muestreo, bajo el sistema de siembra directa, sobre la actividad biológica de un suelo agrícola del sudeste bonaerense. Se cuantificó la respiración basal, carbono oxidable y actividades enzimáticas (deshidrogenasa, fosfomonoesterasa, ureasa). El ANOVA de éstas variables mostró diferencias significativas para todas ellas, ya sea entre épocas de muestreo, profundidades, tratamientos y/o sus respectivas interacciones. El CO<sub>2</sub> mostró diferencias significativas sólo entre las profundidades. En cuanto a la RB, manifestó diferencias entre las profundidades y las épocas de muestreo. La actividad deshidrogenasa y fosfatasa presentaron diferencias entre las fechas de muestreo, las profundidades, los tratamientos y entre las interacciones dobles y triples correspondientes. De la misma manera, la actividad ureásica, excepto entre profundidades. La significancia para las interacciones triples, indican la alta sensibilidad de estas actividades a los cambios introducidos en el ambiente suelo. La actividad biológica estimada a través de la RB y el contenido de CO del suelo, si bien variaron respecto al efecto de la profundidad y época de muestreo (en el caso de RB), no mostraron ser tan sensibles como las actividades enzimáticas.

2. Impacto de diferentes secuencias de cultivo sobre la macro y mesofauna en el centro-sur bonaerense. Carrasco, N.; Zamora, M.; Forján, H. y Manso, M.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de las secuencias agrícolas actuales sobre la macro y mesofauna edáfica luego de 12 años en SD. Se registró una abundancia total de 967 individuos, pertenecientes a los Phyla Arthropoda, Annelida y Mollusca. En el estrato 0-10 cm se recolectaron 453 individuos, de los cuales los anélidos representaron el 71.5 %. Por otra parte, en el estrato 10-20 cm se recolectaron 516 individuos, de los cuales, 93.9% fueron anélidos. La mesofauna del suelo estuvo constituida principalmente por enquitreidos y colémbolos. Los enquitreidos representaron entre el 50.33 y el 87.40% de la mesofauna en los estratos 0-10 y 10-20 cm respectivamente, mientras que los colémbolos entre el 11.48 y el 1.55%. El efecto de las secuencias resultó significativo para los Colémbolos en el estrato 10-20 cm, donde la secuencia 2 presentó mayor abundancia que las restantes. En el estrato 0-10 cm no se presentaron diferencias. Por su parte, los enquitreidos no se vieron afectados por la profundidad ni por las diferentes secuencias. Dentro de la macrofauna, el Phylum Annelida fue el más abundante (superior al 50%), y el Phylum Arthropoda tuvo una representación de alrededor del 40%. Los quilópodos y diplópodos presentaron los porcentajes más altos, con 81 y 85.7% en los estratos 0-10 y 10-20 cm respectivamente. Los Oligoquetos Megadrilos o lombrices no presentaron diferencias de abundancia entre secuencias, ni entre profundidades. Para los Quilópodos la secuencia 1 fue más abundante que las demás en el estrato 0-10, mientras que en el estrato 10-20 cm, no se detectaron diferencias. La presencia de Coleópteros no presentó diferencias en el estrato 0-10 cm, y en el 10-20 cm, siendo la secuencia 2 la que presentó mayor abundancia. En el caso de los Moluscos no fue significativa la interacción secuencia\*profundidad ni se detectaron diferencias entre secuencias o entre profundidades.

**V Congreso de la Soja del Mercosur. Mercosoja 2011.** Inclusión de soja en secuencias agrícolas del sur bonaerense: Su efecto sobre el balance de nitrógeno y fósforo. Sección Sustentabilidad de la producción. Forján, H.; M. Zamora; M. L. Manso; M. L. Seghezzi y E. R. Molfese. Asociación de la cadena de la Soja argentina. Rosario. Argentina.

La expansión de la agricultura en la región centro-sur de Buenos Aires ha estado asociada en los últimos años al aumento del área ocupada por el cultivo de soja. La fijación biológica de nitrógeno (FBN) que se produce con este cultivo, no es suficiente para reemplazar el N exportado del sistema, lo que plantea interrogantes sobre la evolución de la productividad de los suelos y la consecuencia de una mayor dependencia de fertilizantes para los restantes cultivos. El objetivo del ensayo fue evaluar el impacto que produce la presencia de soja implantada en diferentes intensidades sobre el balance de N y P de secuencias de cultivo empleadas en la región, considerando dos niveles de fertilización nitrogenada. Todas las secuencias presentaron un balance de P positivo. En N se presentaron diferencias entre todas las secuencias con los dos niveles de fertilización. Una mayor presencia de soja en la secuencia agrícola se relacionó con los menores valores logrados en el balance de N. El alto requerimiento de N del cultivo de soja provocó balances anuales negativos de ese elemento, aun considerando la FBN, cuando el cultivo fue incluido en cada secuencia como cultivo de primera. Cuando la soja intervino como cultivo de segunda, ese balance negativo fue compensado, en la mayoría de los casos, por el balance positivo del cultivo precedente. Se sugirió que la soja debe ser insertada dentro de rotaciones adaptadas a las condiciones locales, debiendo considerarse al balance de nutrientes como una herramienta de gran utilidad para diagramar estrategias de fertilización en la secuencia.

**XIX Congreso Latinoamericano de Suelos y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 2012.** Asociación Argentina Ciencia del Suelo. Mar del Plata.

1. Contenido de carbono en distintas rotaciones luego de 12 años bajo siembra directa. Comisión manejo y conservación de suelos y aguas. Manso, L. y Forján, H.

El contenido de materia orgánica (MO) de un suelo es el resultado del balance entre las tasas de humificación y mineralización.

Este balance depende de la cantidad, calidad, oportunidad y forma de retorno de carbono (C) al suelo a través de los rastrojos. La fracción lábil de la MO, la MO particulada (MOP), daría indicios en forma temprana de los efectos producidos por las prácticas de manejo. El objetivo de este trabajo fue determinar el contenido de MO total (MOT), particulada y asociada a la fracción mineral (MOA) luego de 12 años de siembra directa (SD) con diferentes secuencias y analizar la evolución de la MOT. Se determinó el contenido de MOT y sus fracciones de 0-5 y de 5-20 cm, y la evolución de la misma desde el inicio del ensayo en 1998. El contenido de MOT y MOP fue superior de 0-5 cm, destacándose la MOP en las secuencias que recibieron mayor aporte de rastrojos. En forma contraria, el contenido de MOA fue superior de 5-20 cm. Para todas las secuencias evaluadas, 12 años bajo SD incrementaron la MOT, y este aumento dependió del aporte de C a través de los residuos de los cultivos intervinientes en cada una de ellas. Por otra parte, en los primeros centímetros de suelo, una elevada proporción de la MOT estuvo formada por la fracción particulada.

2. Estabilidad y carbono orgánico de agregados bajo rotaciones en siembra directa. Comisión manejo y conservación de suelos y aguas. Echeverría, N.; Querejazú, S.; De Lucía, M.; Silenzi, J.; Forján, H. y Manso, L.

La siembra directa (SD) junto con un adecuado sistema de rotación podría reducir los efectos negativos de la agricultura intensiva. El objetivo fue evaluar la estabilidad de agregados (EA) y el carbono orgánico total (COT) de los agregados. Se tomaron muestras de suelo (0-5 cm) de los tratamientos: (S1) agrícola conservacionista, (S2) mixto rotación con pasturas, (S3) agrícola de invierno, (S4) mixto tradicional con verdeos, (S5) agrícola intenso y Parque (situación de referencia). Se evaluó: a) Estabilidad estructural, como el cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP), considerando un índice de estabilidad de agregados (IEA) a partir del Parque; y b) Carbono orgánico (%). El Parque presentó el menor CDMP, asignándole un IEA de 100%. El tratamiento S2 conservó el 52,5% de la estabilidad del Parque, mientras que S1 solo el 35,6%. Además, para todas las fracciones, S2 exhibió los COT más altos mientras que S1 y S5 los más bajos. El IEA relacionó con el COT de los agregados mayores a 4,8 mm ( $R^2: 0.76$ ) y con el tiempo de raíces activas ( $R^2: 0.62$ ). Se concluyó que la incorporación de pasturas permanentes en la rotación mejora la EA y el COT de los agregados del suelo superficial. Rotaciones de cultivos anuales con largos periodos de barbecho otoño invernal no favorecieron la EA debido a un menor tiempo de permanencia de raíces activas durante la rotación.

# Información complementaria

---

## Financiación

Durante el transcurso del período analizado, los ensayos de Rotaciones de la CEI Barrow contaron con aportes de distinto origen.

Los recursos de INTA fueron canalizados a través de diferentes Proyectos:

- 1982 - 1993: Plan de trabajo: Estudio de situaciones productivas para la región mixta triguera bonaerense.
- 1993 – 2006: Proyecto de Investigación agrícola de la CEI Barrow aprobado con el número 9515 por el CERBAS-INTA.
- 2006 – 2009: Proyecto Nacional PNCER 2341 = Rotaciones y labranzas: Sistemas agrícolas de alta productividad. Coordinador: Ing. Agr. MSc. Marcelo Bodrero – Proyecto Regional Basur 03 = Desarrollo de los sistemas mixtos agrícolas- ganaderos en el Área del CERBAS.
- 2009 – 2012: Proyecto Nacional PNCER 022411 = Rotaciones, labranzas y otras estrategias de manejo de suelo y cultivos para aumentar los rendimientos agrícolas en un marco de bajo impacto ambiental. Coordinador Ing. Agr. MSc. Diego Santos - Proyecto Regional: Basur 720152 = Desarrollo de una agricultura sustentable en los territorios del CERBAS.

Estos aportes fueron complementados permanentemente por el Ministerio de Asuntos Agrarios (estructura, personal, servicios) y la Asociación Cooperadora de la CEI Barrow (recursos económicos, personal, estructura, etc.).

## Inversiones (maquinaria – instrumental)

Con la incorporación de los ensayos en distintos proyectos de INTA de ámbito Nacional y Regional, fue posible la adquisición de maquinaria e instrumental de campo y de laboratorio que permitieron mejorar las prácticas y ampliar el rango de determinaciones realizadas.

## Visitas destacadas

Por la dimensión de sus parcelas y el manejo aplicado (similar al empleado por los productores de la región), los ensayos de rotaciones de la CEI Barrow han cumplido y cumplen un rol demostrativo muy valorado. Son permanentes las visitas y recorridas por parte de grupos de productores (Cambio Rural, CREA, Cooperativos, Aapresid), distintas cátedras de Facultades de Agronomía (UNS, UNCPBA, UN La Plata) y de escuelas agrotécnicas de la región, profesionales independientes y/o relacionados a empresas semilleras, maquinaria, agroquímicos. En las jornadas de campo “tranqueras abiertas”, que anualmente realiza la Experimental para todo público. También resulta frecuente presentar los ensayos a figuras diplomáticas, políticas, directivos de organismos e instituciones (Min. Asuntos Agrarios, INTA), productores extranjeros de visita en la región (Dinamarca, Holanda, Kazajstan, Uruguay, Chile), o profesionales extranjeros de reconocida trayectoria internacional como el Dr. John Doran (en 1996), del USDA-ARS, University of Nebraska, Lincoln, USA y el Dr. André Merrien (en 2005) del CETIOM, Francia.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a todo el personal que a través de estos 30 años acompañaron el desarrollo de los ensayos con alta responsabilidad, transformando su dedicación y entusiasmo en la obtención de los resultados que hoy presentamos (ellos son: Marcelo Durandez, Omar Durandez, José Ciccarelli, Oscar Gómez, Roberto Senz, Matías Inchauspe).

A la Dirección de la Experimental, a través de sus responsables en estos 30 años (Ing. Agr. Héctor Carbajo, Ing. Agr. Gilberto Kraan, Ing. Agr. Julio Catullo e Ing. Agr. Carlos Bertucci), quienes interpretaron la importancia y necesidad de contar con la información que estos ensayos de larga duración podían producir, apoyando su continuidad.

A los autores de los capítulos que aportaron sus conocimientos y su tiempo; a la Sra. Zulma López por su trabajo de edición y al Ing. Agr. Héctor Carbajo y la Ing. Qca. María Laura Seghezzeo por la lectura crítica del manuscrito.

La actual producción agropecuaria exige un mejor conocimiento de los componentes del agroecosistema (físicos, biológicos y socioeconómicos), donde se incluyan las limitaciones de cada sistema de producción, las interrelaciones que ocurren entre ellos y el impacto ambiental que estos producen.

La información generada por los ensayos de larga duración existentes en la Chacra Experimental Integrada Barrow, ha contribuido, en gran medida, al desarrollo y a la implementación de estrategias de manejo para ser utilizadas en los sistemas de producción de la región. El análisis de distintas historias, sistemas o secuencias, permitió conocer las ventajas y desventajas de cada una, buscando encontrar aquellas que su implementación no afectara el potencial productivo del sistema de producción.

La **publicación describe la labor desarrollada a través de 30 años en el tema rotaciones y secuencias de cultivos**. La misma muestra el resultado de la integración de las distintas áreas de trabajo reunidas bajo el objetivo de encontrar respuestas a las demandas planteadas por el sector productivo en este período. Está destinada a profesionales de la agronomía, estudiantes de pre y posgrado y productores agropecuarios de la región.



Ministerio de Agroindustria  
Presidencia de la Nación