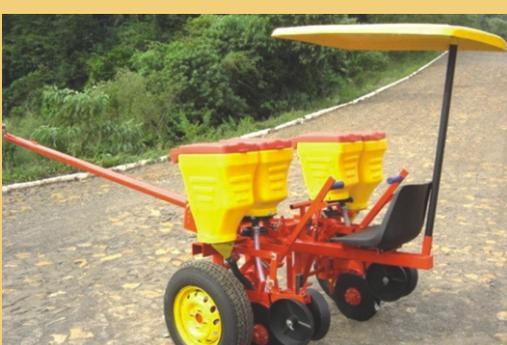


Documentos



**Aportes de la Ciencia y la Tecnología  
al Manejo Productivo y Sustentable  
de los Suelos del Cono Sur**

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

Argentina - Bolivia - Brasil - Chile - Paraguay - Uruguay -

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura



## **Aportes de la Ciencia y la Tecnología al Manejo Productivo y Sustentable de los Suelos del Cono Sur.**

### **Editores:**

Ing. Agr. MSc. Roberto Díaz Rossello  
Investigador INIA La Estanzuela, Uruguay

Ing. Agr. Catalina Rava  
catalinarava@gmail.com

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

Argentina - Bolivia - Brasil - Chile - Paraguay - Uruguay -

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura 

Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio web institucional: [www.procisur.org.uy](http://www.procisur.org.uy)

Coordinación editorial: PROCISUR  
Corrección de estilo: PROCISUR  
Diagramado: MERCOSOFT CONSULTORES  
Diseño de portada: MERCOSOFT CONSULTORES / PROCISUR  
Impresión: IMPRENTA BOSCANÁ

Díaz Rossello, Roberto

Aportes de la ciencia y la tecnología al manejo productivo y sustentable de los suelos del cono sur / Roberto Díaz Rossello, Catalina Rava. – Montevideo: IICA, PROCISUR, 2006.

272 p.; 21 x 29,7 cm.

ISBN 92-90-39-751-9

1. Suelos – Cono Sur 2. Agricultura sostenible - Cono Sur 3. Siembra directa – Cono Sur I.  
Rava, Catalina IICA II. Título

AGRIS  
P33

DEWEY  
631.4

Montevideo, Uruguay - 2007

# Presentación

El Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur – PROCISUR, desde sus inicios, ha venido promoviendo el uso sustentable de los recursos naturales. En forma más específica, desde el año 2003 dio inicio a una Plataforma Tecnológica Regional de Sustentabilidad Ambiental que permite articular una amplia gama de actores y no solo circunscribir su accionar al ámbito científico. A través de este mecanismo de cooperación, los equipos técnicos han integrado valiosas experiencias de agricultores y empresas de asistencia técnica con el avance científico tecnológico desarrollado en los sistemas nacionales de investigación de los 6 países integrantes de PROCISUR. Al mismo tiempo, en esta Plataforma se han generado proyectos cooperativos de investigación cuyos resultados ya están siendo compartidos y aplicados en la región.

La presente publicación, **“Aportes de la Ciencia y la Tecnología al Manejo Productivo y Sustentable de los Suelos del Cono Sur”**, constituye

un nuevo producto de este esfuerzo de la cooperación internacional que pretende entregar básicamente tres mensajes. El primero, es que los suelos son recursos que deben manejarse con fines productivos, pero considerando sus particulares características y funcionamiento para evitar el deterioro. Segundo, que la ciencia y la tecnología están generando información y herramientas para lograr ese equilibrio entre un uso productivo y mantención/mejora de su productividad. Tercero, se requiere seguir generando conocimientos sobre el tema y sobretodo, hacer un esfuerzo aún mucho mayor en difundir en forma permanente dichos conocimientos a todo nivel.

Esperamos que este trabajo sea de utilidad para toda la región, y al mismo tiempo, sirva de estímulo a los equipos técnicos que han hecho este valioso aporte, para que continúen en la búsqueda de nuevos conocimientos y formas de difusión en beneficio de los agricultores y de nuestros recursos naturales.

Emilio Ruz  
Secretario Ejecutivo  
PROCISUR



# Prólogo Editorial

El Cono Sur de América Latina ha liderado la adopción de las tecnologías de siembra directa (SD) a nivel mundial. La agricultura de granos regional presenta la mayor tasa de adopción de SD, con registros que superan el 70% del área de siembra. Eso ha determinado un proceso tecnológico de adaptación y generación de tecnologías apropiadas a esa realidad productiva.

Los Institutos de Investigación Agropecuaria de la región incrementaron sostenidamente los recursos humanos y de infraestructura dedicados al desarrollo de la SD, principalmente, estimulados por sus enormes beneficios en competitividad y sustentabilidad. Actualmente, se reconoce una fuerte capacidad tecnológica en la temática, al extremo que ya hay indicios de exportación extra regional de algunos componentes tecnológicos.

El desafío actual se encuentra en los llamados problemas de “segunda generación” de esta práctica tecnológica. Son los problemas de sustentabilidad y competitividad que se generan por la aplicación de esta nueva forma de hacer agricultura. El más notable de esos problemas tiene que ver con la pérdida de sostenibilidad por la tendencia a la monocultura de soja. Fue tan grande y tan exitosa la técnica de SD en este cultivo, que su competitividad relativa lo hizo crecer aceleradamente, expandiendo la frontera agrícola a suelos más frágiles y reduciendo la necesaria diversificación de los sistemas de producción; ambos factores afectan seriamente la sustentabilidad regional. A pesar de sus grandes beneficios y desarrollo, la siembra sin laboreo no alcanza a frenar el deterioro productivo de los suelos, sino es parte de un sistema de producción diversificado en SD. Asimismo, la sustitución del laboreo convencional por la SD abre la oportunidad de capitalizar sus benefi-

cios en balance de carbono y otros réditos ambientales que pueden ser certificados para mercados que los demanden.

La agenda de estas temáticas se refleja claramente en los 31 artículos técnicos que se editan en español en esta publicación y que corresponden a dos destacadas Reuniones Técnicas de expertos regionales.

En Marcos Juárez, Argentina, se realizó el Seminario Internacional de “Indicadores de Calidad del Suelo”, del 20 al 22 de abril de 2005. Allí se abordó la necesidad de desarrollar indicadores de sustentabilidad en relación a SD, con especial énfasis en los aspectos de materia orgánica, biología y física de los suelos. Este evento constituyó asimismo parte de la celebración de 30 años de investigación en SD con experimentos de rotaciones de largo plazo establecidos en 1975 en INTA Marcos Juárez.

En Passo Fundo, Brasil, se realizó una Reunión Técnica Internacional “Relación Sembradora/Suelo en Sistemas de SD. Problemas y Soluciones”, los días 6 y 7 de diciembre de 2005. Se trataron los problemas de siembra en condiciones de compactación frecuentes en sistemas de SD. Esta reunión se hizo con representantes del sector privado en provisión de innovaciones para maquinaria agrícola.

Roberto M. Díaz  
Coordinador  
PTR Sustentabilidad Ambiental  
PROCISUR



## INTRODUCCIÓN

La Intensificación Agrícola en el Cono Sur y los Desafíos a la Sostenibilidad .....	11
---	----

## CAPITULO I

### Memorias

SEMINARIO TÉCNICO INTERNACIONAL “INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO” .....	21
---	----

Presentación del seminario .....	23
----------------------------------	----

Prólogo .....	25
---------------	----

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>27</b>
---------------------------	-----------

Productividad y Sostenibilidad en suelos bajo Siembra Directa; Un Enfoque desde la Extensión Rural; .....	27
<i>Gabriel Espoturno</i>	

<b>SECCIÓN DE INDICADORES BIOLÓGICOS</b> .....	<b>31</b>
--	-----------

Balances de Carbono en Suelos Agrícolas Pampeanos con Manejos Contrastantes como Indicadores de Sustentabilidad; .....	31
<i>Carlos Galarza</i>	

Efecto de largo plazo de la Siembra Directa y de Rotaciones de Cultivos sobre los Rendimientos, el Carbono y el Nitrógeno Orgánico, en un Suelo Argiudol típico en Marcos Juárez; .....	39
<i>Alfredo Lattanzi et al.</i>	

Efecto de las Rotaciones y el Laboreo en la Calidad del Suelo; .....	57
<i>Alejandro Morón</i>	

Uso de Parámetros Microbiológicos como Indicadores para evaluar la Calidad del Suelo y la Sustentabilidad de los Agroecosistemas; .....	69
<i>Ieda de Carvalho Mendes et al.</i>	

Nematodos como Indicadores Biológicos de Calidad de Suelos; ..... <i>Mónica Boccolini et al.</i>	81
Mejoramiento de la Formación de Micorrízicos Nativas y el Crecimiento de la Soja en sucesión a Cultivos Micorrícicos previos en Siembra Directa; ..... <i>Victoriano Barboza Sosa</i>	89
<b>SECCIÓN DE INDICADORES FÍSICOS .....</b>	<b>97</b>
Degradación – Recuperación de la Condición Hidrofísica de Haplustoles/Udoles del Sur Cordobés manejados con siembra Directa; ..... <i>Carmen Cholaky et al.</i>	97
Determinación de las Condiciones Físicas de los Vertisoles, orientadas al Manejo Sustentable con Siembra Directa; ..... <i>Jorge Cerana et al.</i>	109
Resistencia a la Penetración como Indicador de Compactación en ensayos de larga duración bajo Siembra Directa en Marcos Juárez; ..... <i>Cristian Cazorla et al.</i>	123
Consecuencias del Tránsito en Húmedo sobre el Suelo y los Cultivos de trigo, Soja y Maíz en Sistemas de Siembra Directa; ..... <i>Guillermo Gerster et al.</i>	133
Análisis de cuatro años de Siembra Directa en la Cuenca de San José; El Caso del Proyecto Cadepa; ..... <i>Claudio J. Pérez Castillo et al.</i>	141
Compactación en Siembra Directa; Cambios en la Densidad Aparente del Suelo con Diferentes Sistemas de Labranza, en un período de 12 años de Práctica Continua; ..... <i>Juan Carlos Mejía et al.</i>	147
Principales Problemas en el Establecimiento y Emergencia de Siembras con Cero Labranza: Situación en el Sur de Chile; ..... <i>Nelba Gaete Castañeda et al.</i>	153
Problemas de Implantación y de Emergencia de los Cultivos en Sistema de Siembra Directa en el Sur de Brasil; ..... <i>Eleno Torres et al.</i>	159
Algunas Restricciones Físicas e Hídricas para el Crecimiento de los Cultivos en Uruguay; ..... <i>Jorge Sawchik</i>	165
<b>SECCIÓN DE INDICADORES INTEGRADOS .....</b>	<b>171</b>
Avances en la Selección de Indicadores de Calidad para las Series de Suelo Representativas de la región Pampeana y Aplicación de un Sistema de Información Geográfica; ..... <i>Gustavo Moscatelli et al.</i>	171

## CAPÍTULO II

### Memorias

<b>RELACIÓN SEMBRADORA-SUELO EN SIEMBRA DIRECTA : “PROBLEMAS Y SOLUCIONES” .....</b>	<b>181</b>
Presentación de la Reunión Técnica .....	183
Evaluación de un Accesorio Escarificador para Sembradoras de Grano Grueso; .....	185
Parte I: Efecto sobre la Densidad Aparente del Suelo; .....	185
<i>Mario Omar Tesouro et al.</i>	
Parte II: Efecto sobre la Humedad y la Porosidad del Suelo; .....	193
<i>Mario Omar Tesouro et al.</i>	
Parte III: Resistencia del Suelo a la Penetración y Rendimiento del Cultivo; .....	201
<i>Mario Omar Tesouro et al.</i>	
Compactación de los Suelos; .....	209
<i>Jorge Riquelme Sanhueza et al.</i>	
Problemas de Relación Sembradora - Suelo en Sistemas de Siembra Directa en Uruguay; .....	221
<i>Enrique Pérez-Gomar et al.</i>	
Ministerio de asuntos campesinos y Agropecuarios, Viceministro de asuntos Agropecuarios y Riego; “Política y Plan Nacional de Aprovechamiento y Manejo de Suelos”; .....	225
<i>Miguel Murillo</i>	
Principales Problemas en Sembradoras No Tractorizadas para Siembra Directa, para la Pequeña Agricultura Familiar en la Provincia de Corrientes, Argentina; .....	233
<i>Hugo R. Bogado et al.</i>	
Evaluación y Validación de sembradoras No Tractorizadas para Siembra Directa, en Pequeñas Unidades Productivas; .....	239
<i>Antonio Faganello et al.</i>	
Sembradoras de Cero Labranza de Tracción Animal; Problemas y Soluciones en Chile; .....	243
<i>Carlos Ruiz S. et al.</i>	
Evaluación Inicial de Sembradoras Abonadoras para Siembra Directa en Pequeñas Propiedades; .....	251
<i>Francisco Javier Vallejos Mernes et al.</i>	
Sembradoras Experimentales para Investigación en Sistema de Siembra Directa, en Embrapa Trigo; .....	253
<i>Arcenio Sattler</i>	
Optimización de Sistemas Agrícolas Productivos y la fertilidad Integral del Suelo; Aspectos Físicos, Químicos y Biológicos Relacionados con la Estructura; .....	259
<i>José Eloir Denardin et al.</i>	
Sembradoras para Siembra Directa Evolución Tecnológica y Problemas en la relación Maquina/Suelo en el sur de Brasil .....	269
<i>Arcenio Sattler</i>	



# INTRODUCCIÓN

## LA INTENSIFICACIÓN AGRÍCOLA EN EL CONO SUR Y LOS DESAFÍOS A LA SOSTENIBILIDAD

**Roberto Díaz-Rossello <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Ing. Agr. MSc. INIA La Estanzuela;  
rdiaz@le.inia.org.uy*

### I. INTRODUCCIÓN

El Cono Sur, constituido por Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay, se convirtió, en poco tiempo, en un lugar de referencia de la agricultura de granos del mundo, principalmente por el dinamismo de su crecimiento y su participación en el comercio mundial. El crecimiento de la agricultura ocurre simultáneamente con enormes cambios en la tecnología y estructura de producción en los últimos años. Claramente, se asiste a un quiebre tecnológico que hace evidente como nunca el potencial de los cambios técnicos para modificar la estructura económica, social y ambiental de la producción.

Ante tantas posibilidades de cambio, la sostenibilidad de los sistemas productivos y, en

particular, del recurso suelo, deben ser la primera preocupación de análisis, de modo de capitalizar todas las oportunidades y anticipar potenciales problemas.

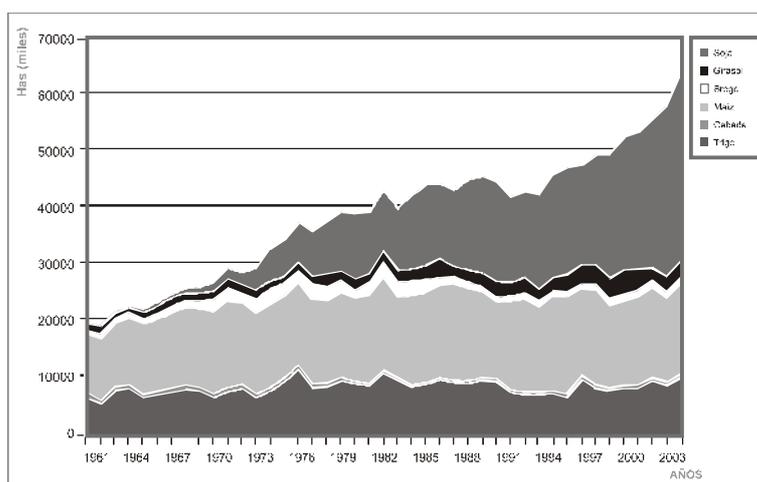
En la historia de la agricultura regional no se conocen antecedentes de cambios tan rápidos y simultáneos en tantas dimensiones de proceso de producción. Eso dificulta prever como serán los sistemas de producción que habrá que atender en los próximos años. Sin embargo, hay procesos y tendencias que son consistentes y nos convocan a la discusión de la sostenibilidad productiva y ambiental si se continúan consolidando.

## II. EVOLUCIÓN DE LA AGRICULTURA EN EL CONO SUR

Las fronteras políticas comerciales y sociales se desdibujan rápidamente en el Cono Sur. Las cadenas agroindustriales, no solamente se desarrollan hacia la exportación extra-regional de cada país, sino que se integran horizontalmente en los países de la región. Esto es muy visible tanto en la provisión de insumos tecnológicos como en la propia exportación de productos. Los componentes tecnológicos más críticos para la competitividad –genética, mecanización y defensivos– están absolutamente internacionalizados. En su última fase de integración se aprecia como la producción cobra dimensión regional y las grandes empresas se establecen con emprendimientos productivos en diversos países de la región (Bisang, R. y Gutman, G. 2005).

Como consecuencia de esos cambios, todos los países que tienen condiciones para desarrollar agricultura de granos experimentan procesos muy similares.

En la agricultura de nuestro entorno regional se destacan algunas características que son marcadamente diferentes a otras cuencas agrícolas del mundo. En primer lugar, la posibilidad de crecimiento de la frontera agrícola por la disponibilidad de tierras cultivables aún no explotadas (**Figura 1**). En menos de cuarenta años la región creció de 20 a casi 70 millones de hectáreas de agricultura de granos. Más de un millón de tierras vírgenes fueron incorporadas por año, a la agricultura de granos en las últimas cuatro décadas. Prácticamente, toda esa expansión a partir de los años 70, responde al crecimiento del cultivo de soja. En algo más de cuarenta años el área cultivada aumentó 226%, mientras que el área agrícola de todo el mundo aumentó solamente 29% en el mismo período. El Cono Sur es responsable del 40% del crecimiento en el área agrícola mundial.

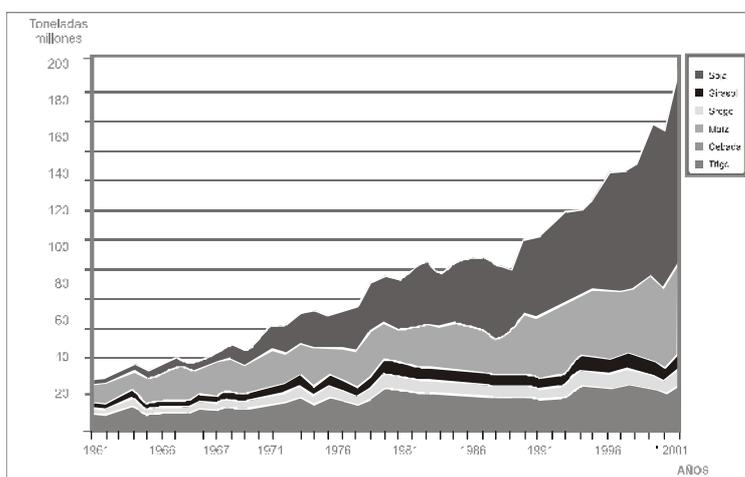


**Figura 1.** Crecimiento del Área Agrícola en el Cono Sur.

Fuente: Adaptado de FAO STAT 2005.

El comportamiento de la producción es aún más impactante (**Figura 2**) pues se multiplica el gran cre-

cimiento en área con crecimientos de la productividad similares a las tasas de crecimiento internacionales.

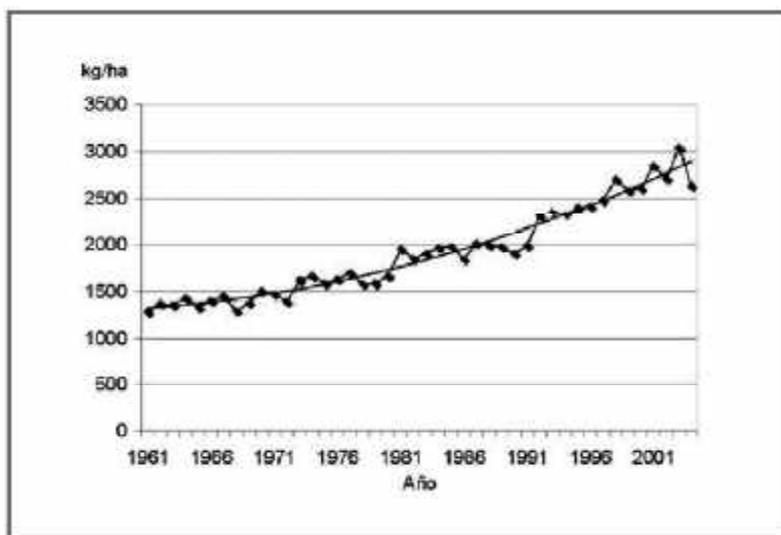


**Figura 2.** Producción de Granos en el Cono Sur.

Fuente: Adaptado de FAO STAT 2005.

En el año 1960 se producían 1,3 toneladas de granos por hectárea y en el año 2004 se alcanzaron casi 3 toneladas por hectárea (2.95). Durante más de cuarenta años la productividad por hectárea cre-

ció a una tasa del 2.0% anual. La rápida incorporación de tecnología compensó el desplazamiento de la agricultura a suelos de menor productividad natural (**Figura 3**).

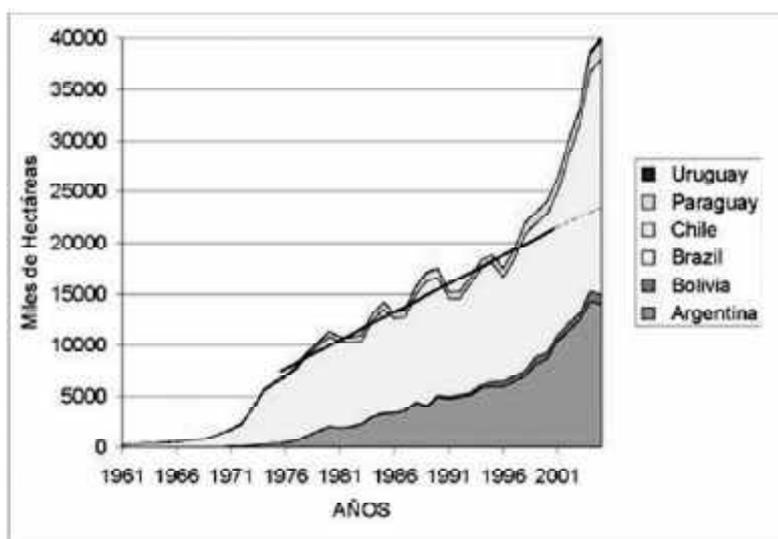


**Figura 3.** Productividad (Kg/ha) Promedio de Todos los Cultivos en el Cono Sur.  
Fuente: Adaptado de FAO STAT 2005

En síntesis, la producción se multiplicó 7.5 veces en el período y la región ya produce cerca de 200 millones de toneladas de estos granos, constituyendo el principal subsector de la economía agraria regional, con un valor de producción primaria estimado en más de 30.000 millones de US\$.

Buena parte de este crecimiento responde al desempeño de la soja, que ya es responsable de casi la mitad de la producción de granos y en los últimos cinco años tiene un crecimiento sin antecedentes.

La soja es el cultivo protagónico del crecimiento agrícola desde comienzos de los años setenta. Sin embargo, lo más sorprendente es la expansión inédita desde fines de los noventa. En la **Figura 4** se proyecta como hubiera sido la dimensión del área de soja, si continuara con el mismo ritmo de crecimiento que ocurrió desde 1975 hasta el 2000. Actualmente, bajo esa hipótesis se estarían sembrando 23.5 millones de hectáreas de soja. Sin embargo, ya se siembran 38 millones de hectáreas y aunado a los aumentos de productividad, prácticamente, se duplicó la producción desde 1999 a la actualidad.



**Figura 4.** Evolución del Área de Soja en el Cono Sur.  
Fuente: Adaptado de FAO STAT 2005.

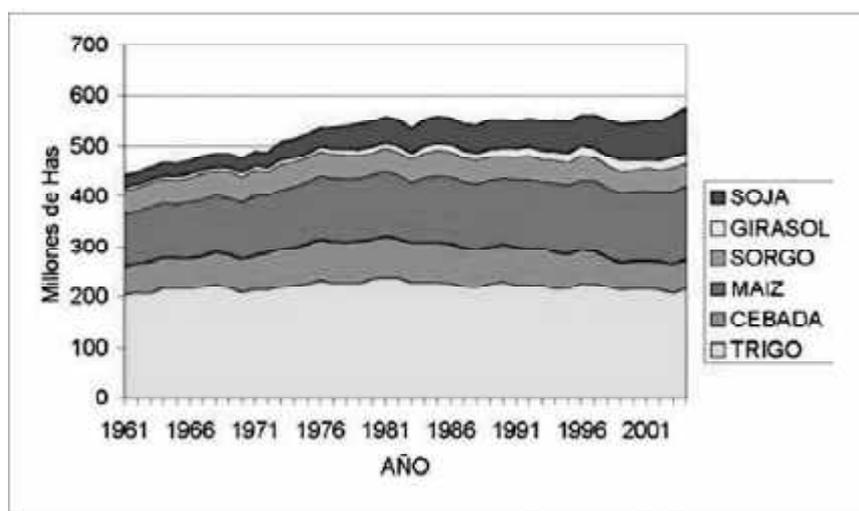
La base de este relanzamiento del cultivo es sustancialmente tecnológica, pues esta región lidera el proceso de modernización de la agricultura. Pasada la mitad de los años noventa se inicia el rápido proceso de transformación de la agricultura con laboreo convencional a la Siembra Directa. Ese cambio técnico es fuertemente impulsado por grandes economías en la función de producción al bajar el precio del glifosato. También se agregan grandes ventajas en sostenibilidad productiva, economías de mano de obra, facilidades de operación, etc.

Todo el paquete tecnológico cambia y el proceso se acelera con la introducción de otra innovación basada en la resistencia transgénica a herbicidas de la soja. Las ventajas productivas de estas innovaciones son un nuevo salto de competitividad que inducen el gran crecimiento en las áreas de este cultivo en toda la región basado en la Siembra Directa, que se sinergiza con la introducción de las sojas resistentes a herbicidas totales. Es muy difícil contar con estadísticas directas de la reconversión a sistemas de Siembra Directa, pero

diversos trabajos que estiman indirectamente esta práctica indicarían registros sensiblemente superiores a 40 millones de hectáreas (Derpsch, R. and Benítez, J.R. 2004)<sup>3</sup>.

El empleo de sojas resistentes a herbicidas es aproximadamente 75% y, a excepción de Brasil<sup>4</sup>, que tiene estadísticas inciertas que estiman la mitad de la producción con resistencia a glifosato, el resto de los países plantan casi la totalidad de los cultivares con resistencia (Wilkinson, J. 2005)<sup>5</sup>. La proporción de las áreas de los cultivos sembrados en la región indefectiblemente define los sistemas de uso del suelo dominantes, que a su vez, determinan la sostenibilidad productiva de las rotaciones en función de condicionar la diversificación, el empleo de defensivos, el balance de nutrientes y carbono, etc.

Se plantea la interrogante acerca de la singularidad de la evolución de la agricultura de esta región en relación al resto de la agricultura extensiva del mundo. La **Figura 5** representa la proporción de los mismos cultivos de grano en la agricultura mundial.



**Figura 5.** Evolución del Área de Cultivos de Grano en el Mundo.  
Fuente: Adaptado de FAO STAT 2005.

Puede concluirse rápidamente que la situación del Cono Sur es extremadamente diferente del resto de la agricultura mundial respecto a la relación entre los cereales y los oleaginosos (**Figura 6**). En cuatro décadas la relación de superficie se modificó escasamente y en la actualidad hay 5.7 veces más cereales que oleaginosas. Mientras que en el Cono Sur la relación pasó desde casi 20 veces más superficie de cereales a comienzos de la década de los sesenta, a que en la actualidad los cultivos oleaginosos cubren una superficie 1,5 veces superior a los cereales. Queda en evidencia la enorme diferencia en las proporciones de cultivos cerealeros

y oleaginosos entre la región y el resto de la agricultura mundial en la actualidad. Esta brecha en el manejo del suelo se profundizará mucho más si se proyectan las tendencias de los últimos años.

Estas estadísticas abren la discusión de la sostenibilidad de la agricultura en el Cono Sur con un doble desafío; la monoculturización de la agricultura y que esta ocurra con la especie que tiene el peor perfil en relación al volumen, calidad y estabilidad de los residuos que definen el balance de carbono del sistema suelo planta (Johnson, J.M. et al. 2006).

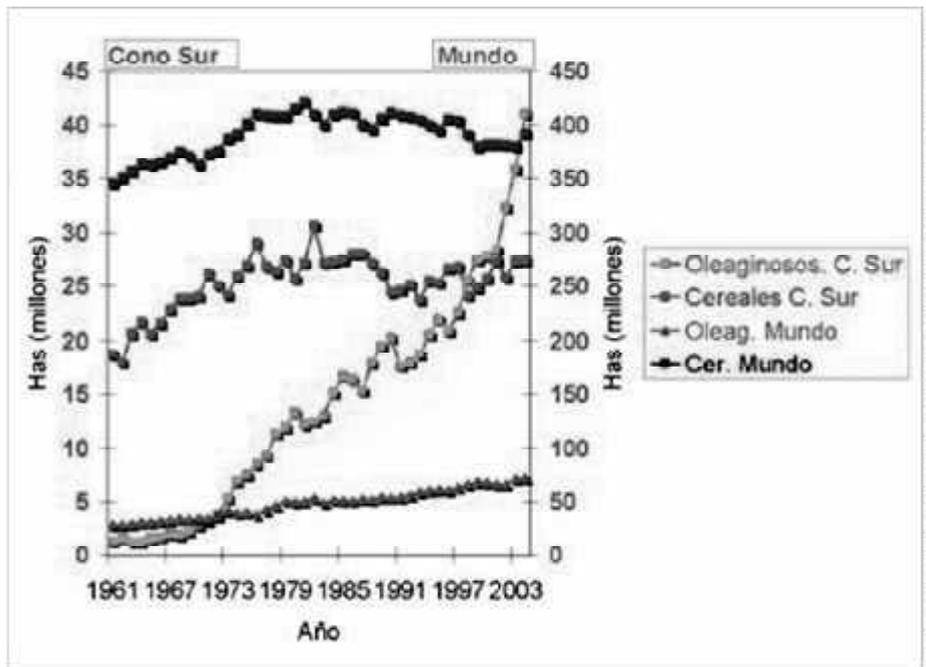


Figura 6. Evolución de la relación de áreas entre cultivos oleaginosos y cerealeros en el cono sur y el resto del mundo.

### III. TECNOLOGÍAS PARA LA SUSTENTABILIDAD DE LOS SUELOS

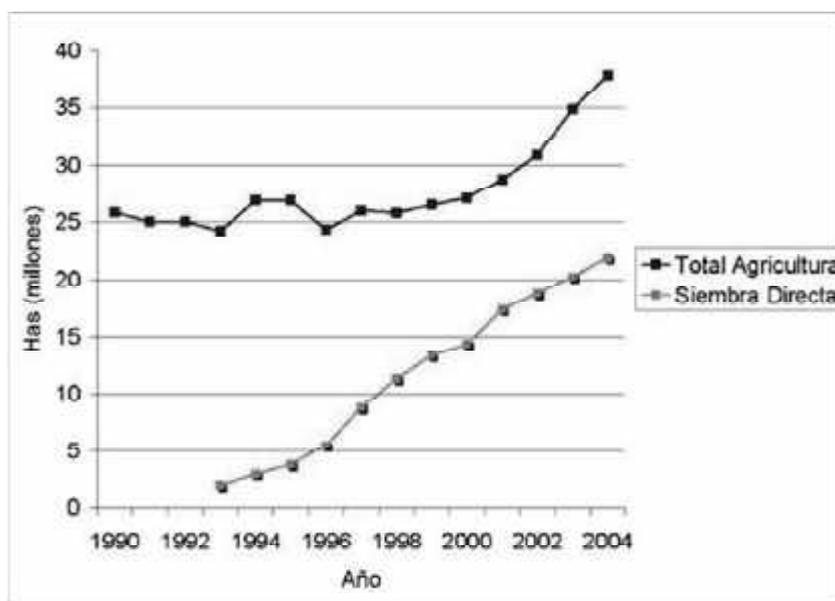
En materia de manejo sostenible de suelos agrícolas hay solamente dos grandes senderos tecnológicos disponibles:

**1. La diversificación productiva.** Se instrumenta a través de las rotaciones de cultivos y pasturas. A partir de la monocultura pueden desarrollarse crecientes posibilidades de diversificación que pasan por la alternancia de distintos cultivos, ciclos complementarios para uso más eficiente del suelo, doble cultivo, cultivos consociados, etc., hasta llegar al modelo más desarrollado; el mixto, donde los cultivos anuales alternan con pasturas plurianuales de leguminosas y gramíneas. En este último sistema, las pasturas que duran más de un año, contribuyen interrumpiendo el ciclo anual de malezas, plagas y enfermedades propias de los cultivos de granos de estación. Así se reduce la necesidad de defensivos agrícolas para la protección contra esos factores bióticos. Por otra parte, las pasturas con leguminosas reducen notoriamente el riesgo de erosión durante su fase de crecimiento y contribuyen a recuperar el contenido de materia orgánica y nitrógeno del suelo.

**2. La labranza conservacionista.** Esta segunda alternativa tecnológica se basa sustancialmente en

la reducción del laboreo. Se parte del laboreo más convencional con muchas operaciones de labranza para reducir el tamaño de los agregados y que requiere largos períodos sin cobertura vegetal ni residuos. Este sendero tecnológico progresa en diversas alternativas de reducción del número e intensidad de las operaciones de laboreo y también en la reducción de los tiempos de exposición del suelo sin vegetación. Se desarrollan técnicas que permiten mayor abundancia de residuos en superficie, hasta que finalmente se alcanza la forma más desarrollada que no requiere laboreo y que se conoce como Siembra Directa (SD).

El Cono Sur de América es la región del mundo que alcanzó la mayor adopción del cuerpo de tecnologías que hacen a la SD. Vive desde los últimos años un proceso de reconversión de la forma de hacer la agricultura que no tiene antecedentes por la celeridad y profundidad de sus impactos estructurales. Para apreciar el ritmo de reconversión tecnológica en los sistemas de laboreo de la región la **Figura 7** muestra como Brasil en aproximadamente 10 años incorpora 22 millones de hectáreas a esta nueva tecnología (Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2002).<sup>6</sup>



**Figura 7.** Desarrollo de la Siembra Directa en la Agricultura de Brasil.  
Fuente: Adaptado de FAO STAT 2005 y Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha.<sup>7</sup>

Algunos indicadores señalan que más del 60% de la agricultura de granos se realiza con SD. Derpsch y Benítez, estiman que el Cono Sur al año 2003 plantaba bajo SD más de 40 millones de hectáreas lo que representa el 64% del área de cultivos de grano de ese año (63 millones de hectáreas). Si bien se trata de estimaciones y las equivalencias de áreas pueden tener algunas distorsiones, el orden de magnitud de estos indicadores es suficientemente expresivo de la magnitud de adopción de esta tecnología en la región.

La SD realizó una contribución formidable a la sustentabilidad productiva. Enormes regiones agrícolas que estaban en el umbral de abandonar la producción, por las pérdidas en productividad de los suelos, lograron revertir esta situación y mejoraron su competitividad. Sin embargo, en este éxito se escondía la semilla que amenaza nuevamente la sustentabilidad de la producción de granos en la región. Fue tan grande la competitividad del cultivo de soja en SD con la resistencia incorporada a herbicidas, que proyectó un crecimiento desproporcionado con el resto de la agricultura. Progresivamente en grandes regiones prácticamente la única opción productiva es la soja y son precisamente esas regiones las de suelos más susceptibles a la degradación.

El primer sendero tecnológico de la sostenibilidad de los suelos que se mencionó relativo a diversificación productiva, pasó a recorrerse en el camino inverso, hacia la monocultura. La región está claramente amenazada en la sustentabilidad productiva

de los suelos en función del sistema global de rotaciones que tiene disponible. Fracásó en conciliar su progreso en labranza conservacionista en SD, con sistemas diversificados.

Por muchos actores vinculados al sector agropecuario se percibió a la SD como la panacea que resolvería por sí misma todos los problemas de la sustentabilidad y en particular, el de la conservación de suelos. Su contribución fue notable, pero en la medida que se evoluciona a la reiteración del cultivo de soja y se expande a suelos más frágiles comenzaron a reportarse graves problemas de conservación de suelos en toda la región. En especial en ausencia de cultivos o coberturas invernales y con la amenaza de lluvias de intensidad extrema con mayor frecuencia.

A la luz del conocimiento tecnológico actual, si se quiere mantener este crecimiento agrícola, el único camino para realizar contribuciones significativas a la sustentabilidad es aumentar la diversificación productiva con más participación de otros cultivos en la rotación.

La magnitud de las consecuencias de la monocultura de soja y los beneficios de la diversificación puede verse, en la **Figura 8**, mediante el empleo de modelos de simulación altamente desarrollados para estimar el impacto de diversas rotaciones de cultivos y sistemas de laboreo del suelo sobre las pérdidas por erosión (Modelo USLE/RUSLE)<sup>8</sup> y del Carbono Orgánico (Modelo Century)<sup>9</sup>. El trabajo cuantifica el promedio de pérdidas para un conjunto de tres tipos de suelos agrícolas de texturas medias y pesadas<sup>10</sup>.

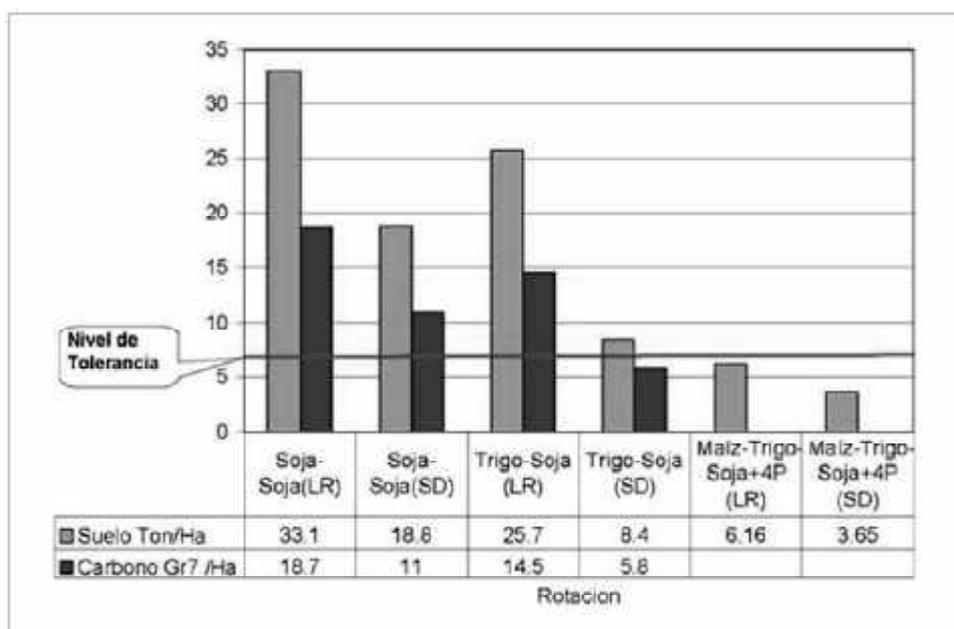


Figura 8. Pérdidas de Suelo y Carbono por Erosión en diferentes manejos por Laboreo y Rotación.  
Fuente: Adaptado de C. Clerici *et al.* 2003.

El contraste de la Labranza Reducida (LR) vs. la Siembra Directa (SD) ilustra los grandes beneficios de la SD en reducción de pérdidas de suelo y carbono en diversas rotaciones. Sin embargo, cuando se establecen sistemas de rotación tendientes a la monocultura de soja se aprecia como la SD no basta para reducir las pérdidas a niveles tolerables (7 ton/Ha) en estándares internacionales.

Únicamente sistemas con gramíneas estivales como maíz o preferentemente con pasturas plurianuales logran estabilizar o aun revertir las pérdidas de suelo y carbono orgánico.

Una restricción seria para este análisis es la ausencia de series históricas con registros de áreas de cultivos forrajeros y coberturas. Seguramente, bajo diversos sistemas productivos integran las rotaciones especies forrajeras anuales y plurianuales, así como cultivos de cobertura o abonos verdes. No hay evidencia que esta expansión agrícola haya sido acompañada por un crecimiento acompasado de esos otros rubros. Por el contrario, algunas localidades indican tendencias contrarias, pero un análisis abarcativo requeriría disponibilidad de estadísticas más completas en el espacio y en el tiempo.

#### IV. PRINCIPALES TENDENCIAS, OPORTUNIDADES Y AMENAZAS EN EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA

Existen diversos instrumentos que pueden contribuir a predecir las consecuencias de este escenario de producción sobre la sustentabilidad de los suelos; principalmente, los modelos disponibles de crecimiento de los cultivos, los de erosión, los de balance de carbono y nitrógeno y aún los climáticos. Pero, ¿continuarán los sistemas productivos tal cual son ahora o simplemente proyectando las tendencias actuales de cambio se puede anticipar como serán en el futuro? La información que se maneja en este trabajo muestra que si hace unos pocos años se hubieran simplemente proyectado las tendencias, no se habría pronosticado la situación actual. Muchos son los elementos que condicionan el desempeño de la agricultura y en particular, los económicos son los más inciertos.

No obstante, con la información disponible es posible especular en materia de proyección de tendencias sobre los dos elementos tecnológicos más relevantes para la sustentabilidad de la agricultura de granos; diversificación y reducción del laboreo. Más adelante, se discutirán algunos cambios ya evidentes en el escenario de producción futura que seguramente podrán modificar estas tendencias.

##### 1. Oportunidades de diversificación.

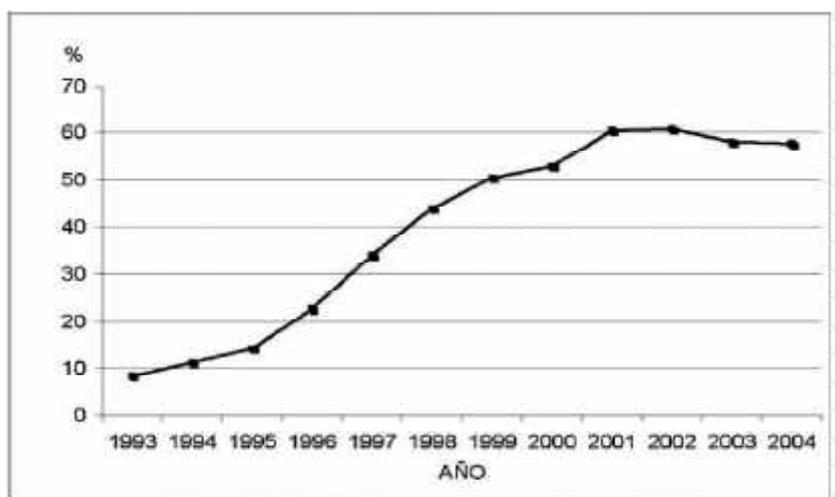
Más de cuarenta años de crecimiento consistente del cultivo de soja dejan poco espacio para pronósticos alejados de esta tendencia y también en ese

período, de los otros cinco mayores cultivos analizados, solamente el maíz tiene un crecimiento significativo de su área de siembra. Bajo los parámetros macroeconómicos de las últimas décadas, parecen muy escasas las oportunidades de modificaciones rápidas de crecimiento de otros cultivos de grano que permitan mejorar el balance y la diversificación en el uso del suelo. La mayor oportunidad de modificaciones significativas quizás provenga de la integración de cultivos forrajeros, abonos verdes o cultivos de cobertura.

La producción pecuaria registra en las zonas subtropicales un fuerte impulso. Son precisamente regiones donde el crecimiento del cultivo de soja es significativo. Estas zonas, de suelos más marginales y de menor renta que las tradicionales, son las que deben ser más consideradas en I&D por su fragilidad agrícola y por la oportunidad de mejorar la diversificación con producción pecuaria.

## 2. La adopción de la Siembra Directa.

En materia de adopción de SD, como sistema permanente de producción, existen algunas evidencias que muestran disminución en su ritmo de adopción, pues se reportan algunas restricciones propias del sistema, que obligan a prácticas culturales principalmente en los suelos más marginales a la agricultura. Si se observa el crecimiento absoluto de la adopción de SD en Brasil, se concluye que es sostenido (**Figura 7**). Sin embargo, cuando se lo expresa como porcentaje del total de la agricultura, la evolución es claramente sigmoide con sensible estancamiento en los cuatro últimos años (**Figura 9**).



**Figura 9.** Porcentaje de Siembra Directa en el Total de la Agricultura en Brasil.

Fuente: Adaptado de FAO STAT 2004 y Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha  
[http://www.febrapdp.org.br/area\\_PD\\_Brasil\\_2002.htm](http://www.febrapdp.org.br/area_PD_Brasil_2002.htm)

Todo indica que la SD seguirá incrementando su participación en el área de siembras, pero probablemente el ritmo de incorporación está en una fase de declinación, debido a los problemas de segunda generación que aparecen como consecuencia del propio sistema. Son esos problemas los que más movilizan la investigación agrícola regional y de su éxito dependerá que esta tecnología se adopte totalmente como sistema permanente.

## 3. Nuevas Condicionantes del Escenario Agrícola.

Tres grandes factores que prácticamente no influyeron en los últimos años de la intensificación agrícola del Cono Sur seguramente impactarán en el diseño y desempeño de los sistemas de uso del suelo en los próximos años, el alza de los precios del petróleo, la demanda de biocombustibles y el cambio climático.

### a) El alza de los precios del petróleo.

El análisis de su impacto en la competitividad y sustentabilidad de los sistemas es complejo por sus efectos directos e indirectos. Los combustibles son un componente directo importante en la función de producción de los granos lo que puede percibirse como una pérdida de competitividad global. Sin embargo, la región tendrá una ventaja competitiva en relación a otras del mundo al considerar que los cultivos bajo SD tienen un menor consumo de combustibles y también será un factor de estímulo a la adopción de la agricultura sin laboreo.

La competitividad relativa de los cultivos se puede ver afectada en forma diferencial por el incremento del petróleo. La soja podría tener un nuevo impulso de crecimiento ya que es el cultivo que se realiza con menor gasto de combustible. Asimismo, el efecto indirecto sobre el alza del precio de los fertilizantes - principalmente nitrogenados - también aumenta la competitividad relativa de la soja frente a todos los otros cultivos. No solamente no es dependiente de los fertilizantes nitrogenados, sino que además es el que presenta valor crítico de disponibilidad de fósforo menores para alcanzar los potenciales de producción.

Claramente, las rotaciones con pasturas de leguminosas aumentan su competitividad por las economías directas en la producción animal y por las indirectas debidas a la residualidad de nitrógeno sobre la fase agrícola en rotaciones mixtas.

### ***b) La demanda de Biocombustibles.***

En la evolución actual de la agricultura de granos, la diversificación fue mencionada como inevitable opción tecnológica para mejorar la sustentabilidad de los sistemas de producción. Para modificar ese escenario son muy débiles los instrumentos que pueden contrarrestar el impacto de los precios y las condiciones económicas que hacen a la competitividad de un cultivo u otro. Los precios del petróleo en alza dan oportunidad a los biocombustibles destinados a la producción de alcohol y pueden ser una alternativa para incrementar competitivamente la diversificación productiva. También pueden ser una amenaza si incrementan las oportunidades de los oleaginosos para producción de biodiesel.

### ***c) El Cambio Climático.***

En los reportes climáticos de los últimos años de la región, se verifican las situaciones más extremas de sequías e inundaciones<sup>11</sup> desde que se llevan registros climatológicos. En materia de conservación de suelos las lluvias extremas son las principales responsables de las situaciones más graves de erosión. La interacción de estas lluvias de intensidad extrema con la monocultura de soja es la causa más denunciada de crecientes problemas de erosión, donde la práctica de SD es claramente

insuficiente para disminuir la erosión. Por el contrario, la mayor compactación superficial de la SD aumenta los volúmenes de escurrimiento y ante la carencia de cobertura suficiente en buena parte del año, se determinan problemas de erosión comparables o superiores a la agricultura convencional.

La agricultura de granos, en contraste con la agricultura forrajera, es particularmente sensible a los fenómenos climáticos extremos, pues como todos los cultivos anuales tiene períodos muy cortos de alta sensibilidad a los estreses térmicos e hídricos. El riesgo climático ha aumentado y nuevamente el gran instrumento para abatir el riesgo productivo será la diversificación.

## **V. CONSIDERACIONES FINALES**

La sustentabilidad de los suelos en procesos tan acelerados de intensificación agrícola puede verse seriamente comprometida en muy pocos años. Implementar la valorización económica de los recursos naturales como instrumento que disuada su degradación ha mostrado escaso éxito en las experiencias de la región y quizás deba considerárselo con cierta viabilidad en el largo plazo.

A la investigación agrícola le cabe un rol protagónico en el desarrollo de propuestas tecnológicas para aquellas regiones donde la intensificación es reciente y el conocimiento de sistemas alternativos de uso del suelo es escaso. Pero, es aún más importante, que la investigación se desarrolle en capacidades de anticipación de los problemas y participe en el diseño de políticas tecnológicas que no dejen el desarrollo de la agricultura librado exclusivamente al mercado de precios de insumos y productos.

Claros ejemplos de políticas de estímulo a ciertas tecnologías que promueven sistemas de uso del suelo más sustentables son; las políticas energéticas, el levantamiento de trabas estructurales para la diversificación agrícola, las políticas impositivas sobre insumos y productos, etc.

En estos períodos de crecimiento y mayor disponibilidad de recursos es cuando hay mayor capacidad de planificar y tomar acciones para que el crecimiento agrícola de la región sea durable.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BISANG, R. y GUTMAN, G. 2005. Acumulación y Tramas Agroalimentarias en América Latina, Revista de la CEPAL 67.
- 2 FAO STAT 2005. <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture>
- 3 DERPSCH, R. and BENITES, J.R. 2004. "Agricultura Conservacionista no Mundo," *In*: Brazilian Soil Science Conference, Santa Maria, Brazil, July.
- 4 ESTUD.SOC.AGRIC. [online]. 2005, Vol.1, Special Edition [cited 16 May 2006]. Available from World Wide Web: [http://socialsciences.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-05802005000100004&lng=en&nrm=iso](http://socialsciences.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-05802005000100004&lng=en&nrm=iso). ISSN 1413-0580. Translated by Enrique J. Romera.
- 5 WILKINSON, J. 2005. GMOs: Brazil's export competitiveness and new forms of coordination. Translated by Enrique J. Romera. *Estud.soc.agric.*[online]. Vol.1, Special Edition [cited 16 May 2006]. Available from World Wide Web: [http://socialsciences.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-05802005000100004&lng=en&nrm=iso](http://socialsciences.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-05802005000100004&lng=en&nrm=iso). ISSN 1413-0580.
- 6 Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. 2002. [http://www.febrapdp.org.br/area\\_PD\\_Brasil\\_2002.htm](http://www.febrapdp.org.br/area_PD_Brasil_2002.htm)
- 7 Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. 2002. [http://www.febrapdp.org.br/area\\_PD\\_Brasil\\_2002.htm](http://www.febrapdp.org.br/area_PD_Brasil_2002.htm)
- 8 JOHNSON, J.M.; ALLMARAS, R.R. and REICOSKY, D.C. 2006. Estimating Source Carbon From Crop Residues, Roots and Rhizodeposits Using the National Grain-Yield Database.
- 9 RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K. and YODER, D.C. (Coordinators). 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Agriculture Handbook N 703.
- 10 PARTON, W.J.; MCKEOWN, B.; KIRCHNER, V. and OJIMA, D.S. 1992. CENTURY Users Manual. Colorado State University, NREL Publication, Fort Collins, Colorado, USA.
- 11 CLERICI, C.; BAETHGEN, W.; GARCÍA-PRECHAC, F. y HILL, M. 2003. Estimación del Impacto de la Soja sobre la Erosión y el Carbono Orgánico en Suelos Agrícolas del Uruguay. *In*: Congreso de la Ciencia del Suelo, Paraná.
- 12 KARLTHOMAS, R. 2006. Changes in Very Heavy and Extreme Precipitation Events. Presented for the 86th Annual American Meteorological Society Meeting. [http://ams.confex.com/ams/Annual2006/techprogram/paper\\_103505.htm](http://ams.confex.com/ams/Annual2006/techprogram/paper_103505.htm)

# CAPÍTULO I

Memorias  
SEMINARIO TÉCNICO INTERNACIONAL  
“INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO”

Marcos Juárez - Argentina  
Abril 2005



## Presentación del Seminario

El aumento de la población mundial seguirá creando una gran presión sobre el recurso suelo para la producción de alimentos.

Lograr hacer frente a esta demanda en el futuro requerirá un alto nivel de productividad de las tierras en producción, la adición de nuevas tierras y la restauración de suelos degradados para obtener de ellos una productividad razonable.

El manejo de los suelos, bajo esta situación, deberá tender a sostener y a mejorar la calidad del recurso.

Debido a su heterogeneidad, el suelo, no posee estándares de calidad definidos, por lo que es difícil establecer una medida física, química o biológica que pueda mostrar adecuadamente su nivel de calidad.

Se ha definido que la calidad del suelo es uno de los factores más importantes para la sostenibilidad del agroecosistema, ya sea teniendo en cuenta los principios de productividad, sustentabilidad y calidad ambiental.

Para cuantificarla, los indicadores deben ser medidos especialmente a través de la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas, las que deberán ser fáciles de cuantificar y sensibles a los cambios que generan las prácticas de manejo.

El paradigma de la agricultura sustentable para los próximos años, deberá ser formulado examinando las fortalezas y debilidades del agroecosistema, tratando de incorporarle los principios ecológicos del ecosistema natural. La naturaleza exacta del paradigma de la agricultura sustentable es incierta y continúa desarrollándose. Posiblemente deba estar relacionado con prácticas de manejo que respeten las características específicas de cada suelo, con un manejo diferencial para las áreas dentro de un mismo lote y con un manejo apropiado del período de barbecho, entre otras.

Sería un razonamiento muy superficial pensar que todos nosotros estamos acá, solamente por una convocatoria de INTA y PROCISUR. Creo que estamos reunidos en este seminario por nuestra responsabilidad en la utilización del recurso suelo. Responsabilidad ésta que nos hace pensar en la necesidad de definir buenos indicadores de la calidad del suelo para poder realizar un buen diagnóstico y establecer el mejor sistema sustentable para su uso.

Espero que en estos dos días y medio, logremos avanzar en esa dirección.

Ing. Géog. Hugo Juan Marelli  
*Coordinador* INTA EEA Marcos Juárez



# Prólogo

A partir de las últimas décadas del siglo pasado, en nuestra región, la sociedad en general y el sector agropecuario en particular, han experimentado cambios de una notable intensidad y velocidad.

Sin ánimo de intentar el análisis de su causalidad, que sin duda obedece a la interacción de factores y está sujeto a diferentes interpretaciones, hoy más que nunca debemos poner nuestra mirada en la sostenibilidad de nuestros agroecosistemas.

En términos generales se puede afirmar que, estos agroecosistemas sufren signos de deterioro debido al incremento de los procesos de agriculturización, la desaparición de los rasgos positivos de la agricultura familiar y la disminución de la biodiversidad.

De aquí en adelante debemos ser conscientes que cualquier decisión que la sociedad tome en relación a esta problemática, indefectiblemente va a implicar costos y que los participantes de este seminario -si bien podemos diferir en aspectos de la visión del problema- tenemos que coincidir en la responsabilidad que nos corresponde como dirigentes, funcionarios, productores y profesionales en dilucidar estos temas y contribuir a generar instrumentos que permitan afrontarlos.

Distintos actores institucionales públicos y privados se han dedicado a la investigación y extensión en tecnología apropiada para minimizar y restablecer el equilibrio de manera que las generaciones futuras sigan contando con la capacidad productiva de nuestros recursos naturales.

Al respecto, el INTA en todo el país ha generado un importante volumen de información y esta Estación Experimental ha sido uno de los precursores del proceso. Los primeros trabajos se iniciaron a principios de la década del 70 en el doble cultivo de soja sobre trigo y posteriormente, se fue ampliando a otros cultivos agrícolas y forrajeros.

Después de 30 años, estos ensayos ofrecen hoy una invaluable oportunidad para estudiar los efectos a largo plazo de esas técnicas de manejo sobre las condiciones físicas y químicas de nuestros suelos. Esta información, especialmente la referida a la dinámica del Carbono y del Nitrógeno en el suelo, son utilizadas como indicadores de sustentabilidad para nuestros sistemas de producción predominantes tanto agrícolas como agrícola-ganaderos.

Todo este esfuerzo permitió formar investigadores y extensionistas cuyo trabajo hoy se traduce en prácticas que llevan adelante los productores en cuanto a rotaciones agrícolas ganaderas, secuencias de cultivos, siembra directa, sistematización de suelos con pendientes, restitución de nutrientes, empleo de materiales genéticos ajustados a las condiciones de producción y manejo integrado de plagas.

Renovamos y profundizamos nuestro compromiso institucional a través de la profundización de la investigación y extensión en tecnologías apropiadas y en la búsqueda consensuada del diseño de indicadores de sostenibilidad con rasgos específicos por regiones y de la información básica georeferenciada que permitirá dotar a los actores públicos y privados con capacidad para monitorear, sistemática y cuantitativamente, el estado y evolución de los recursos naturales dedicados a la producción

De lograr este último objetivo, estaremos en condiciones de proveer a la región con herramientas para el diseño de políticas de uso de tierra, con el objetivo de lograr la deseada optimización del ordenamiento territorial.

Ing. Agr. Marcelo Tolchinsky  
Director INTA EEA Marcos Juárez



# 1- INTRODUCCIÓN

## PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD EN SUELOS BAJO SIEMBRA DIRECTA

### UN ENFOQUE DESDE LA EXTENSIÓN RURAL

**por Ing. Agr. Gabriel Espoturno  
INTA AER Corral de Bustos  
EEA Marcos Juárez, Argentina.**

#### I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la sostenibilidad se asocia a una consideración holística-integradora de los impactos económicos, ambientales y sociológicos de cualquier tipo de desarrollo y se la describe como el resultado de la intersección de tres disciplinas: la ecología, la economía y la sociología.

Esto permite reconocer tres dimensiones en relación a la sostenibilidad:

- Sostenibilidad ecológica: el ecosistema debe mantener sus características principales, las cuales son esenciales en el largo plazo;
- Sostenibilidad económica: el manejo sostenible de los recursos naturales debe proporcionar ingresos suficientes para que el mantenimiento de dicho manejo resulte atractivo;
- Sostenibilidad social: los beneficios y costos deben distribuirse equitativamente entre los distintos grupos y los valores sociales y culturales de las personas involucradas deben respetarse.

En agricultura, la disponibilidad de recursos naturales debe ser tomada como un factor restrictivo y por lo tanto, hacer eficiente su uso es una condición necesaria para alcanzar la sostenibilidad.

No obstante estas premisas, la concepción productivista está afectada de la sospecha fundada de que el grado de agriculturización e intensificación (con el monocultivo de soja como posición extrema del proceso) es incompatible con la sostenibilidad a largo plazo.

La agricultura sostenible, vista como un aspecto particular de la utilización de los recursos, reconoce en el potencial de producción y en el mantenimiento del mismo, atributos que contribuyen con la sostenibilidad.

El desarrollo y transferencia de tecnología, visto como instrumento que ayuda a lograr objetivos de sostenibilidad, requiere de elementos de juicio objetivos y cuantificables que permitan evaluar las consecuencias de su aplicación y, en este sentido, el estudio de indicadores de sostenibilidad será una herramienta indispensable para avanzar en esta problemática.

Por último, la agricultura moderna se caracteriza por la simplificación, desde el punto de vista operativo, pero con una complejidad mayor cuando se analiza desde la interrelación con otros factores a nivel de sistema de producción, entre los cuales la interacción hombre/ambiente es trascendente.

## II. PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD

La práctica de SD ha provocado un marcado impacto en la agricultura argentina, en general y en la agricultura regional, en particular. La provincia de Córdoba muestra a nivel nacional los más altos índices de adopción de SD con valores del 75% en maíz, 78% en trigo, 84% en soja de primera y 93% en soja de segunda.

Además, se vive un proceso hacia mayor escala e intensidad en el uso del suelo, relacionado con la estrategia para lograr competitividad en el sistema de producción, lo que presiona sobre los recursos por un lado y sobre los productores por otro, toda vez que la eficaz toma de decisiones por parte de ellos incide en la habilidad competitiva del sistema de producción.

Con este criterio es razonable considerar al productor como personaje central del proceso transferencia-adopción, sin descuidar las diferentes circunstancias que lo afectan y lo caracterizan tales como, escala, organización empresarial, acceso a la información, financiamiento, etc.

En otras palabras, la sostenibilidad es un atributo de los sistemas productivos y considerando al pro-

ductor como eje principal de ese sistema resulta interesante conocer:

- Como ven los productores la problemática de la sostenibilidad de los sistemas productivos, con especial énfasis en aquellos conducidos en SD;
- Hasta que punto el término sostenibilidad es entendido y compartido por los destinatarios de las actividades de extensión;
- Como avanzar en el conflicto producir/conservar, compatibilizando productividad con sostenibilidad; y
- Por último, considerar alguna estrategia de extensión para avanzar en el tratamiento del problema.

Para poder desarrollar estos contenidos se realizó una encuesta a 41 productores agropecuarios representativos de los sistemas productivos predominantes en el área de la AER Corral de Bustos.

### CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA Y DE LOS PRODUCTORES ENCUESTADOS

El **Cuadro 1.1** muestra características de los sistemas predominantes y el **Cuadro 1.2** detalla uso y tenencia de la tierra.

**Cuadro 1.1.** Estrato de tamaño y superficie promedio de los sistemas predominantes.

Estratos de mayor frecuencia (ha)	Superficie media predominante (ha)	Sistema de producción	Número de encuestas
200-400	283	Agrícola puro	32
200-1000	453	Agrícola bovino	6
50-400	182	Agrícola porcino	3

**Cuadro 1.2.** Uso del suelo (%) y tenencia.

S.P.	Uso del suelo				Tenencia	
	T/S	S	M	PP	P	A
A	2	60	20	X	40	60
AB	16	40	12	32	55	45
AP	30	47	13	10	40	60

REF: S. P.: Sistema de producción; A: Agrícola; AB: Agrícola bovino; AP: Agrícola porcino; T/S: Trigo/Soja de segunda; S: Soja de segunda; M: Maíz; PP: Pastura polifítica base alfalfa; P: Propietario; A: Arrendatario.

## CUESTIONARIO Y DATOS PROCESADOS

a) ¿Cuáles son a su juicio los factores que confieren riesgo o incertidumbre en la actividad productiva por usted desarrollada (corto, mediano y largo plazo)?

1	Sistemas de arrendamiento (inestabilidad)	1
2	Precios productos	0.92
3	Cambios macroeconómicos (relación cambiaria)	0.9
4	Costos insumos	0.85
5	Rendimientos (variabilidad) por factores climáticos	0.8
6	Presión impositiva	0.78
7	Limitaciones para el acceso a la tecnología (regalías)	0.73
8	Rendimientos (variabilidad) por enfermedades	0.65
9	Dificultades para mantener la escala de producción	0.51
10	Rendimientos (variabilidad) por degradación de suelos	0.40
11	Rendimientos (variabilidad) por monocultivo	0.39
12	Variaciones en los mercados (mixtos)	0.29
13	Dificultades para el acceso a la tecnología (renovación de equipos)	0.27

b) Siempre teniendo presente las actividades productivas por usted desarrolladas, nombre aquellos elementos con los que relaciona la palabra sostenibilidad (sustentabilidad)

De naturaleza económica	Resultado económico/financiero	0.9
	Competitividad (escala)	0.82
De naturaleza técnico productiva	Mantener/aumentar capacidad productiva (rendimientos)	0.92
	Competitividad (productos)	0.86
De naturaleza ecológica	Sistemas mixtos	0.62
	Conservación de suelos (fertilidad, erosión, estructura, contaminación)	0.5
De naturaleza social	Desarrollo familiar	0.32
	Generación de empleo	0.10

c) ¿Conoce alguna manera de evaluar la sostenibilidad (sustentabilidad) de las actividades productivas por usted desarrolladas?

NO 92,7 %  
SI 7,3 % (Materia Orgánica)

d) Desde su punto de vista, ¿como considera la relación entre producción y sostenibilidad?

- Complementaria 82%  
- Antagónica 18%

### III. CONSIDERACIONES FINALES

El concepto de Agricultura Sostenible impone límites en relación al uso de los recursos naturales.

Los objetivos de un nivel jerárquico inferior (productor) pueden estar en conflicto con los de un nivel jerárquico superior (sociedad) en relación con la asignación eficiente de recursos y la conservación de los recursos naturales.

En este sentido, los indicadores de sostenibilidad serán una herramienta indispensable para avanzar en el tratamiento de la problemática.

Los sistemas actuales y futuros de producción agropecuaria muestran una alta participación tecnológica y, en este escenario, la capacitación aparece como un elemento distintivo de la estrategia de extensión.

La capacitación debe tomarse como la herramienta que permitirá aumentar la aptitud y habilidad para resolver problemas en un individuo más autónomo gestor de su propio desarrollo.

Numerosos objetivos de capacitación pueden formularse, pero deben remarcarse tres principales:

- a) Mejorar la percepción que el productor tiene en relación a la sostenibilidad;
- b) Profundizar el conocimiento de las diferentes alternativas productivas y tecnológicas y su impacto en términos de sostenibilidad de los sistemas; y
- c) Promover el conocimiento como factor superador de limitaciones.

### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PERETTI, M.; ISSALY, C.; PIZARRO, L.; GRANDA, J.; FREIRE, V.; GHIDA DAZA, C.; MOORE, F.; PRADO, A.; PREDI, G.; SALMINIS, J., URQUIZA, B. y VIGLIOCCO, M. 2004. *Monitoreo económico de los sistemas productivos predominantes del sector agropecuario de Córdoba*. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

PERFIL PLAN DE TECNOLOGÍA REGIONAL 2005-2007. Centro Regional Córdoba INTA.

SEMINARIO SIEMBRA DIRECTA. Experiencias del INTA mirando al futuro. 1997.

## 2 - INDICADORES BIOLÓGICOS

### BALANCES DE CARBONO EN SUELOS AGRÍCOLAS PAMPEANOS CON MANEJOS CONTRASTANTES COMO INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

*por Ing. Agr. Carlos Galarza  
Área Suelos y Producción Vegetal,  
EEA INTA Marcos Juárez, Argentina*

#### I. UNA INTRODUCCIÓN A LA CONVENCION DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE CAM- BIO CLIMÁTICO Y EL PROTOCOLO DE KYOTO

Después de un documento preparatorio aprobado en Ginebra (1990) en el marco de la 2ª Conferencia Mundial sobre el Clima, se establecieron los fundamentos para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC). Este documento fue firmado por los países participantes de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo de Río de Janeiro en mayo 1992, en lo que se suele llamar la “Cumbre de la Tierra”.

Esta convención, tiene como objetivo afrontar uno de los retos ambientales más grandes: estabilizar las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la atmósfera en niveles que prevengan las interferencias antropogénicas dañinas, sin que se afecte el crecimiento económico de los países miembros.

Los estados se comprometen a: i) desarrollar tecnologías y procesos de control que disminuyan las emisiones de GEI; ii) promover el manejo sostenible de los sumideros y reservorios de carbono y iii) cooperar en la investigación y observación del sistema climático.

La filosofía de la UNFCCC, fue siempre establecer mecanismos financieros, que permitieran a los países desarrollados o en vías de desarrollo, solventar los costos en que deberían incurrir para asegurar el crecimiento con tecnologías “limpias”. También se debería transferir y promover entre países, el acceso a las tecnologías que estuvieran alineadas con las ideas de la convención. En un principio no se fijaron compromisos de reducción de emisiones de GEI cuantificables, pero se diseñó el marco adecuado para negociar esas reducciones.

La Conferencia de Partes (COP) es el organismo supremo de la convención y en el ámbito de sus reuniones anuales se toman las máximas decisiones. Hasta hoy se han realizado 10 Conferencias de Partes (la última, en Diciembre 2004, en Buenos Aires). Desde la COP 1 (Berlín 1995) hasta la COP 3 (Kyoto 1997), los miembros negociaron la forma en que los países más desarrollados debían reducir sus emisiones y hasta que niveles remitirse.

En el Protocolo de Kyoto (establecido durante la COP 3, Diciembre 1997) se establecieron normas legalmente obligatorias en la reducción de GEI y

mecanismos que flexibilizan y contribuyen, o incentivan la adopción de mecanismos de reducción de emisiones a los países con compromiso de reducción. Éstos integran el listado conocido como Anexo I. Son los más desarrollados y deben bajar los niveles de sus emisiones 5,2%, en conjunto, por debajo del nivel que tenían en 1990.

Los países en vías de desarrollo, como Argentina, adhieren al Protocolo, pero no están obligados a cumplir con una reducción cuantificada durante el primer período de cumplimiento (2008-2012). Su participación en las COP es como veedores del proceso.

La firma del tratado es una expresión del principio de responsabilidad común pero diferenciando entre los países más emisores de GEI. Los miembros del Anexo I deberán demostrar en ese período sus reducciones efectivas. Los que demuestren dificultades para llegar a cumplir con las metas asignadas, podrán acceder a un mecanismo financiero que aliviará su compromiso. Este da origen a los Derechos de Emisión Certificados, que podrán ser negociados entre partes en el “Mercado de Emisiones o de Carbono” (ET).

En ese mercado de emisiones, la unidad de referencia será el CO<sub>2</sub> y el resto de GEI se convertirán según su potencial de calentamiento atmosférico relativo (CO<sub>2</sub> =1; metano =21; óxido nitroso =310). Los países que puedan reducir sus emisiones por debajo de su compromiso, podrán “vender” el excedente a los que lo superen. Por otro lado, los miembros pueden generar “Créditos de Emisión” realizando en terceros países en desarrollo, proyectos o acciones para un crecimiento sin contaminación del aire. Esto se llama “Mecanismo de Desarrollo Limpio” (MDL).

El Protocolo de Kyoto, elaborado en 1997 entró en vigencia en enero 2005, después de cumplirse 2 requisitos: a) que adhieran más del 55% de los países de la convención (requisito ampliamente cumplido pues más de 110 estados ratificaron la firma) y b) que entre los países firmantes se encuentren los del Anexo I, cuyas emisiones sumaran más del 55% del total de emisiones de GEI del año 1990. Este requisito se cumplió al firmar Rusia en octubre 2004 (representó el 17.4% de ese año base y se superó el 55%).

Estados Unidos, al igual que China, ha declarado que no ratificará el Protocolo por considerar, que alcanzar las metas asignadas comprometería su economía. Al ser el mayor emisor de GEI (36.1% en el año base y cerca del 25% en la actualidad), deberá enfrentar costos más elevados en la aplicación de nuevas tecnologías limpias. Un reciente estudio de la Administración de Información de Energía (EIA), estimó ese costo en el orden de

77.000 a 338.000 millones de dólares anuales para llegar a los niveles exigidos por el Protocolo. De todos modos hay estados que individualmente ya están aplicando o estudiando mecanismos de reducciones significativas de emisiones.

Fue en ese país donde se desarrolló y puso en práctica un mecanismo financiero similar al “Mercado de Carbono”. Se creó con la Ley del Aire Limpio de 1970 junto a la Environmental Protection Agency (EPA), para disminuir y prácticamente solucionar el efecto de las lluvias ácidas que cubría casi todo el hemisferio norte. El mecanismo de mercado de emisiones favoreció reducciones aceptables (en 2010 se estima llegarán a las mismas emisiones de 1980), con un ahorro anual de 50.000 millones de dólares.

Se estima que sólo a través de mecanismos no coercitivos, de libre adhesión, se lograrán avances significativos en el control de emisiones y los mecanismos de libre mercado permitirán disminuir los costos de la implementación.

## II. ARGENTINA EN LOS MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un emprendimiento individual o de conjunto entre países, pertenecientes o no al Anexo I, para llevar adelante proyectos de desarrollo que generen “Reducciones Certificadas de Emisión”. Esos títulos se podrán negociar en el mercado generando importantes ganancias a los poseedores.

Nuestro país tiene enormes potencialidades de disminución de emisiones, pero principalmente de Secuestro de Carbono. Para entrar en ese mercado deberá competir en el contexto internacional con proyectos de alta calidad, que permitan generar beneficios reales, mensurables y de largo plazo en relación con la mitigación del cambio climático.

### *MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO Y EL SECTOR AGROPECUARIO ARGENTINO*

Argentina participa con cerca del 5% de las áreas productoras de granos y forrajeras del mundo y con un volumen similar en la producción forestal y ganadera. Posiblemente, su potencial en el mercado mundial de carbono sería de ese nivel.

El sector agropecuario puede participar a través de varias vías de acción:

- Atenuando emisiones de metano y óxido nitroso.

- Disminuyendo el consumo de combustibles fósiles y/o reemplazándolos por biocombustibles u otros no contaminantes.
- Evitando las emisiones, conservando bosques o praderas que se destinarían a usos agropecuarios.
- Aumentando el secuestro de carbono de los sistemas productivos basados en la fotosíntesis.

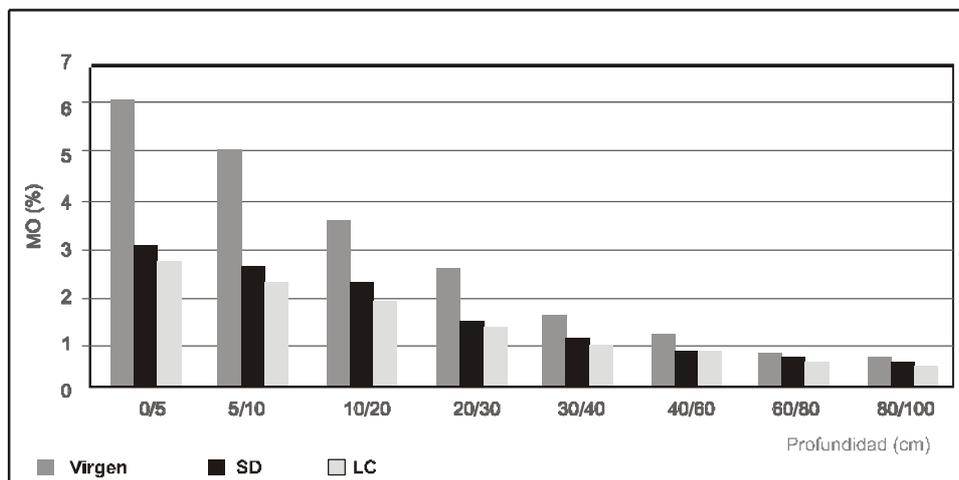
### BALANCES DE CARBONO EN SUELOS AGRÍCOLAS PAMPEANOS

Desde que la pradera pampeana pasó a suelos de alta producción agropecuaria, hace un siglo y hasta hoy, ha perdido importantes cantidades de carbono

que conformaban la materia orgánica (MO) original, verificándose las mayores pérdidas en áreas con cultivos anuales de cosecha.

Diferentes autores (Andriulo *et al.*, 1996; Palma *et al.*, 1997; Quiroga *et al.*, 1999; Galarza *et al.*, 2003), estimaron deterioros de hasta el 42% de los contenidos de carbono o de la materia orgánica de los suelos originales (**Figura 1.1**). Además del aumento lógico que ese carbono originó en la atmósfera, también es responsable de una importante caída en la potencialidad productiva de la región.

El carbono es el principal componente de la materia orgánica y por lo tanto, un factor determinante de la calidad del suelo. Los cambios de contenidos o stock de carbono de los suelos dicen si está actuando como fuente de emisión (si lo pierde) o sumidero (si lo va ganando) con el tiempo (Andriulo *et al.*, 2001).



**Figura 1.1.** Materia Orgánica total en tres manejos contrastantes de suelo en Marcos Juárez.

Fuente: Galarza C.; Gudelj V.; Vallote P.; INTA Marcos Juárez, 2003.

REF: Suelo Virgen: suelo sin uso por más de 100 años junto a las vías del ferrocarril; SD y LC: tratamientos contrastantes de un ensayo de manejo de suelos de la EEA INTA con M-T/S-S como secuencia. SD: siembra directa que se fertiliza desde 1993; LC: labranza vertical en Maíz y Soja de primera, rastra de discos para Trigo, no recibe fertilización.

La capacidad de los suelos de actuar como destino final del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, depende fuertemente de las condiciones ambientales del sitio (Campbell, 1991). En este sentido, la siembra directa (SD), usada en sistemas de alta producción de residuos y con fertilización adecuada, representa la principal herramienta para el secuestro de carbono en sistemas de producción de granos.

Los estudios de Andriulo (2002) y Studert y Echeverría (2002), indican que este sistema de producción acumula carbono orgánico en estratos superficiales después de transcurridos varios años y si el aporte de residuos es muy abundante.

Debe tenerse en cuenta, que la SD mejora la eficiencia de uso del agua y por lo tanto, la productividad, si la disponibilidad hídrica es un factor limitante. Mayor producción, implica mayor volumen de residuos orgánicos y más biomasa microbiana que puede incrementar la velocidad de descomposición, tanto de los residuos frescos como del humus estable del suelo. En secuencia de maíz-soja en SD, Thuar *et al.* (2002), encontraron mayor actividad biológica y masa microbiana que en los suelos con labranzas.

En este estudio, los fijadores de nitrógeno no presentaron diferencias respecto de manejos con labranzas reducidas, pero sí las presentaban los

microorganismos del ciclo del carbono y el nitrógeno (celulolíticos, amonificadores y nitrificadores) que mostraron incrementos en su número y actividad.

Muchos trabajos, demuestran que los suelos manejados bajo SD, acumulan materia orgánica en términos relativos y comparados a sistemas con algún grado de labranzas en los estratos superficiales del suelo.

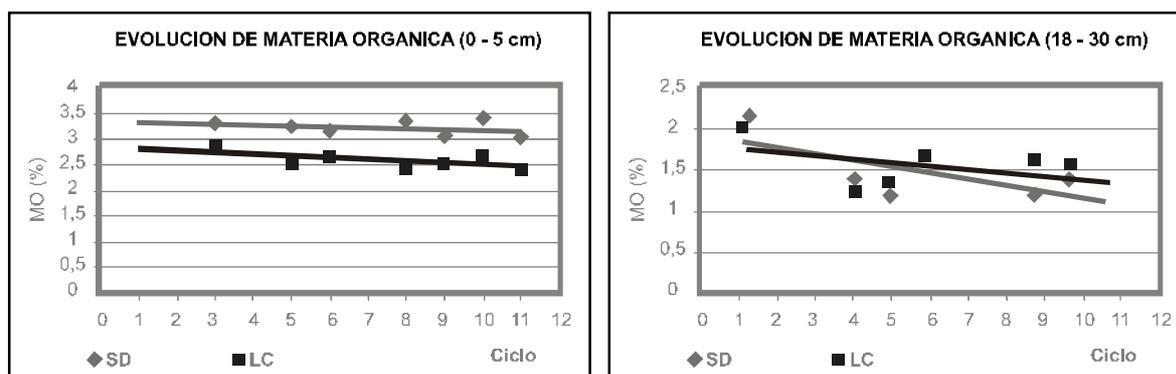
En este sentido Steinbach y Álvarez (2005), revisaron los resultados de cambiar los sistemas de labranza por la SD en 17 ensayos de larga duración de 14 localidades de la región pampeana y encontraron que en SD, se presentaban hasta 2,78t/ha más de carbono considerando masas equivalentes, en los 20cm superficiales. También encontraron que los mayores incrementos de carbono (hasta 15%), se dieron en los suelos de menor contenido de materia orgánica. Los suelos ricos en carbono en cambio, no aumentaron más de 5% su contenido, al mantener un sistema de SD. Por último, determinaron que la velocidad de cambio del carbono del suelo al pasar a SD fue mayor entre el cuarto y noveno año de establecer este manejo. En ese período, el incremento anual relativo medio fue de 460kg de C/ha/año, respecto de los sistemas con labranzas.

Un estudio similar fue realizado por estos autores en 93 lotes de producción agrícola de la región pampeana, trabajando aquí hasta los 30cm de pro-

fundidad. Aproximadamente la mitad de ellos en SD y el resto con labranzas. Con sorpresa, no encontraron las mismas tendencias de los ensayos de larga duración. Por el contrario, en SD encontraron stocks de carbono levemente menores que los de lotes con labranzas (diferencias no significativas). Atribuyen esto, a errores no controlados debido a la gran heterogeneidad entre situaciones que generan efectos confundidos.

Una hipótesis no contemplada en este análisis de situaciones, es que la SD al aumentar la productividad de los cultivos, especialmente en situaciones de fertilización media o baja, como la mayoría de los lotes de producción, aumenta la extracción de nutrientes favoreciendo un balance más negativo. Este mayor déficit induciría una mineralización más intensa para nutrir los cultivos.

Los resultados de los ensayos conducidos por INTA en la localidad de Camilo Aldao, coinciden con esas tendencias. Gudelj *et al.* (2000), indican que tras 11 años de manejos diferenciados en la rotación trigo-soja y con abundantes volúmenes de rastrojo aportado al sistema, la SD incrementó su contenido superficial de carbono (0-5cm), respecto del sistema con labranzas, mientras que sólo se mantuvo sin cambios respecto de la situación inicial. En profundidades mayores a 18cm, en cambio, el nivel de materia orgánica disminuyó drásticamente, tanto en SD como en el sistema con labranzas (**Figura 1.2**).



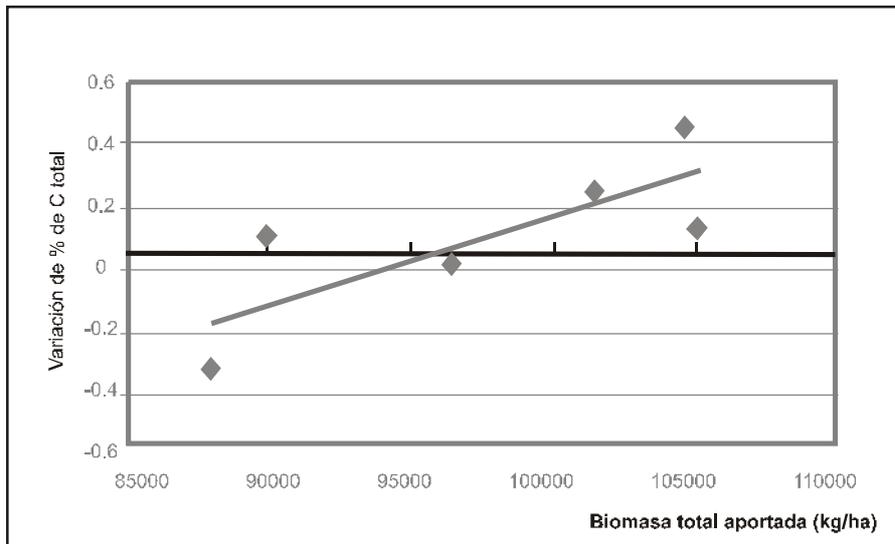
**Figura 1.2.** Evolución de la Materia Orgánica en Siembra Directa y Labranzas Combinadas en Camilo Aldao, Córdoba Arg., después de 11 años de Siembra Directa continua. Izq. 0-5cm de profundidad; Der. 18-30cm de profundidad. Fuente: Gudelj V. *et al.* (2000).

Se concluye, que el contenido de carbono en superficie crece en SD al cabo de algunos años, pues la mayor proporción de los aportes de residuos se localiza allí. Por el contrario, en horizontes subsuperficiales, el balance se desequilibra fácilmente y la mineralización de la materia orgánica supera al escaso aporte de residuos de las raíces.

En estudios de emisiones de carbono conducidos en Pergamino por Álvarez *et al.* (1998), en la secuencia trigo-soja, usando el método de la cámara invertida y mediciones de los rastrojos aéreos, estimaron que de un total de 9,6t/ha/año de carbono emitido por el suelo, 1,63t/ha/año (17%) provinieron de la respiración radicular, 3,45t/ha/año (36%)

de la descomposición de los residuos frescos y 4,51tt/ha/año (47%) de la mineralización del humus del suelo. En ese período de 5 años, los cultivos de trigo y soja aportaron una media de 7tt/ha/año de carbono, que no alcanzaron a compensar las 7,96 toneladas emitidas desde residuos y humus. En ese análisis, el 50% del stock de carbono se hallaba en los 30cm superiores y el 90% del carbono desprendido provenía de la materia orgánica del horizonte A.

Conclusiones similares extrajo González Montaner (2002), estudiando lotes de alta producción en el sur de Santa Fé, con 9 años de SD, donde sólo los lotes que habían recibido aportes de 9-10tt/ha/año de rastrojos aéreos habían incrementado sus stocks de carbono (profundidad de 0-20cm) (**Figura 1.3**). Este aporte “de equilibrio” con el sistema representa incorporaciones de 4,5tt/ha/año de carbono (algo menores a los determinados por Álvarez posiblemente por no considerar los aportes subterráneos).

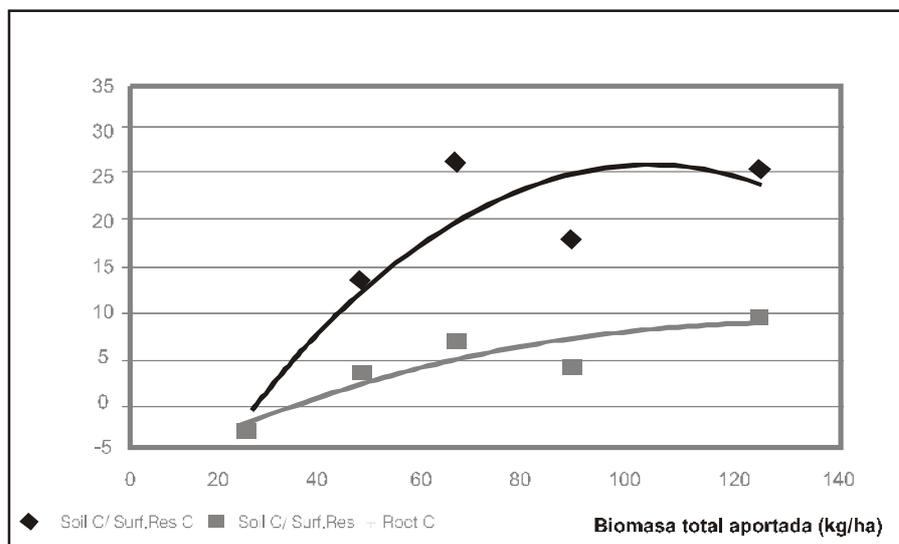


**Figura 1.3.** Variaciones en el porcentaje de Carbono (0-20cm) luego de 9 años de agricultura y aporte estimado de rastrojos.

Fuente: González Montaner J., 2002.

Wilts *et al.* (2004), en estudios isotópicos del aporte del maíz a la materia orgánica estable del suelo, determinaron que de 284tt/ha de aportes de rastrojos en un ensayo de 29 años, sólo el 5.3% de ese material fue retenido como carbono orgánico del suelo. Por su parte, en evaluaciones similares, Halvorson *et al.* (1999), determinaron que esa pro-

porción se modificaba favorablemente con la fertilización. Las máximas eficiencias de secuestro de carbono, cercanas al 30% del residuo aéreo (o del 10% si también consideraba el residuo de raíces), se lograban con aportes de 110kg/ha de nitrógeno (**Figura 1.4**).



**Figura 1.4.** Estimación de la eficiencia de Secuestro de Carbono en los 15cm superficiales en función del Nitrógeno, después de 11 años de cultivos, considerando el Carbono de los residuos superficiales y sumando a estos el estimado de raíces.

## EL NITRÓGENO COMO LIMITANTE DEL SEQUESTRO DE CARBONO

La cantidad de nitrógeno que ingresa en las plantas durante su ciclo se distribuye en dos destinos principales: el grano y los residuos. En los residuos forma parte de proteínas y formas aminadas más simples de diferente velocidad de descomposición. Su concentración es muy inferior a la del carbono, componente con el cual debe equilibrarse en una relación C:N cercana a 10:1 para conformar la materia orgánica estable del suelo (Johnston y Bruulsema, 2004).

Esta relación equilibrada de los precursores de la materia orgánica se logra gracias a la participación indispensable de la biomasa microbiana del suelo, que debe reciclar los residuos de cosecha innumerables veces antes de lograr su estabilización. Durante ese proceso, el carbono excedente va siendo desprendido como CO<sub>2</sub> y perdido en la atmósfera.

El nitrógeno, en cambio, queda inmovilizado en la masa microbiana activa, en formas poco disponibles para los cultivos pero protegido contra la lixiviación. En este proceso participa el nitrógeno de los residuos y el que los microorganismos pue-

den tomar desde el suelo, principalmente a través de las hifas de los hongos.

Como vemos, el nitrógeno debe considerarse desde dos puntos de vista:

A) Como limitante de la transformación/aprovechamiento del carbono orgánico de los residuos en materia orgánica estable del suelo. En efecto, sólo 10 partes de carbono de residuos por cada parte de nitrógeno serán transformados en materia orgánica estable del suelo.

B) Como índice de la cantidad de materia orgánica mineralizada (y en consecuencia, carbono orgánico perdido como CO<sub>2</sub>) necesaria para nutrir los granos producidos. Por cada kilogramo de nitrógeno extraído del sistema por las cosechas se debieron descomponer (perder) aproximadamente 20 de materia orgánica del suelo.

Ambos procesos se cumplen simultáneamente conformando un equilibrio inestable, gobernado por la disponibilidad del nitrógeno que usan las plantas, como sintetizadoras de formas orgánicas y la biomasa microbiana, como consumidora de los residuos y polimerizadora de formas complejas que constituyen la materia orgánica del suelo.

MINERALIZACIÓN (de MO del suelo)  $\rightleftharpoons$  SÍNTESIS DE MO (a partir de residuos)

En base a estos conocimientos, se estimaron las entradas de carbono y el volumen de materia orgánica que podría formarse a partir de los residuos producidos en un ensayo, cuya secuencia de cultivos maíz-trigo/soja-soja se conduce en INTA Marcos Juárez desde 1993. El ensayo en estudio cuenta con un tratamiento con labranzas periódicas (A) y tres tratamientos de SD continua: uno cuenta con avena como cultivo de cobertura invernal y fertilización en base a criterios económicos (D), en otro se fertiliza tratando de reponer los nutrientes extraídos (C) y en el último, se realiza SD y fertilización como la hace el productor medio del área (también aquí se usa el criterio técnico-económico) (B). Los mismos tratamientos se conducen en subparcelas sin fertilización para conocer el aporte de los suelos.

El volumen de residuos de los diferentes tratamientos fertilizados supera ampliamente los aportes de residuos "de equilibrio" mencionados por González Montaner (2002), pero se consideró limitado por el contenido de nitrógeno para conformar la materia

orgánica del suelo. Se estimó que sólo 10kg de carbono por cada kilogramo de nitrógeno llegarían a formar fracciones estables de materia orgánica.

Se presenta en el cuadro siguiente (**Cuadro 1.3**), la cantidad de materia orgánica que podría formarse a partir de los rastrojos de cada cultivo y su contenido de nitrógeno, respetando esa relación estable de 10:1 entre carbono y nitrógeno. Para ello, multiplicamos por 10 el "aporte/producción" de nitrógeno contenido en los residuos.

Por otro lado, se realizó un balance de nitrógeno en base a las extracciones del nutriente por parte de los granos y los aportes realizados como fertilizante en cada manejo. Por cada kilogramo de pérdida de nitrógeno del sistema por balance negativo se estimó que 17,5-20kg de materia orgánica debían descomponerse por mineralización (se consideró un contenido medio de 5,5% de nitrógeno en la materia orgánica estable del suelo).

**Cuadro 1.3.** Flujo anual de Materia Orgánica mineralizada como fuente de Nitrógeno de los granos y Materia Orgánica sintetizada desde los residuos de cultivos.

Tratamiento	MO a mineralizar para proveer N de los granos	MO** generada desde rastrojos manteniendo relación C(10):N(1)	Balance final de Materia Orgánica
C/FERT			
A	-2988 *	1877 **	-1111
B	-3156	1925	-1231
C	-406	1948	<b>1542</b>
D	-2977	1868	-1109
S/FERT			
A	-5859	1409	-4450
B	-5509	1335	-4174
C	-5640	1366	-4274
D	-4723	1146	-3577

\* Calculado como (balance de N \* 17.5)

\*\* Calculado como suma de los aportes teóricos de carbono (C) según contenidos de nitrógeno

REF: (N): en rastrojo; MO = materia orgánica

Como puede apreciarse, ningún tratamiento fertilizado con dosis en base a criterios técnico económicos, llega a contar en el sistema con suficiente nitrógeno para capitalizar el abundante carbono dejado con los residuos, a excepción del tratamiento carbono que fertiliza reponiendo los nutrientes extraídos. Por otro lado, los tratamientos sin fertilización, presentan balances de carbono que triplican los de parcelas con algún grado de fertilización. En éstas parcelas, además de producir mucho menos residuos, cuentan con menor concentración de nitrógeno, por lo tanto, pierden casi todo el carbono aportado como residuos al ser descompuesto por la biomasa. Por otro lado, todo el nitrógeno que exportan los granos (a excepción de un 50% de la soja fijado por simbiosis) proviene de la materia orgánica del suelo.

### III. CONSIDERACIONES FINALES

- En siembra directa se produce una redistribución de carbono desde estratos profundos a la superficie.
- En general se considera que la siembra directa por sí sola es suficiente para incrementar la materia orgánica del suelo. Pero esto sólo pasa cuando los volúmenes de residuos son muy abundantes y consideramos sólo los horizontes superficiales.
- Cuando realizamos una comparación de la siembra directa frente a sistemas que incluyen labranzas, en superficie prácticamente siempre presenta más carbono orgánico, pero en pocas oportunidades ese incremento ha sido real respecto de la condición original del suelo tomando mayores profundidades.
- El suelo se comporta como sumidero sólo si cuenta con suficiente carbono y nitrógeno para formar más materia orgánica que la que se necesita como proveedor de nutrientes de los cultivos.
- El nitrógeno es el principal determinante del carbono que se va a capitalizar como materia orgánica estable del suelo.
- Solo deberían considerarse sustentables los sistemas productivos manejados en siembra directa que presentan balances positivos en su stock total de carbono.

#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, R. 2002. *Stoks de Carbono en suelos pampeanos: Modelo estimativo de niveles de equilibrio*. XVIII Congreso Argentino de la C. del S. Actas. (149) Pto. Madryn. Chubut Arg.
- ÁLVAREZ, R. 1998. *Balance de Carbono y mineralización de la Materia Orgánica Humificada en suelos de la Pampa Ondulada*. XVI Congreso Argentino de la C. del S. Actas (27-28). Villa Carlos Paz.
- ANDRIULO, A. 2002. *Evaluación de la reserva de Carbono Orgánico edáfico bajo agricultura continua. Análisis y modelización*. XVIII Congreso Argentino de la C. del S. Actas. (149) Pto. Madryn. Chubut Arg.
- ANDRIULO, A. 1996. *Exportación y balance edáfico de Nutrientes después de 80 años de agricultura continua*. Carpeta de producción Vegetal Información 147. Tomo XIV EEA INTA Pergamino.
- ANDRIULO, A. y CORDONE, G. 1998. *Impacto de las labranzas y rotaciones sobre la MO de los suelos de la región pampeana húmeda*. In: *Siembra Directa*. pp.65-96. Ed. hemisferio sur.
- ANDRIULO, A.; SASAL, C. y RIVERO, M.L. 2001. *Los sistemas de producción conservacionistas como mitigadores de la pérdida de Carbono Orgánico Edáfico*. Siembra Directa II (Buschiazzo, Marelli, Panigatti Editores). Ediciones INTA BA. pp.17-28.
- CAMPBELL, C.A. 1991. *Thirty- year crop rotation and management practices effects on soil and amino nitrogen*. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:739-745.
- CAMPBELL, C.A. 1996. *Long term effects of tillage and crop rotation on soil organic C and Total N in clay soil in southwestern Saskatchewan*. Canadian J. Of S. Sc. 76 N°3-8.
- GUDELJ, V. et al. 2000. *Comparación de lotes en producción Agrícola manejados con diferentes alternativas conservacionistas*. XVII Cong. Arg. de la C del S. Actas (34) Mar del Plata.
- GUDELJ, V.; GALARZA, C.; VALLONE, P. y NIERI, G. 1997. *Once años comparando sistemas de siembra*. Boletín informativo 41. AAPRESID. Vol 7 12.
- HALVORSON, A. et al. 1999. *Nitrogen fertilization effects on soil Carbon and Nitrogen in a Dryland Cropping sistem*. Soil Sc. Soc. Am. J 63:912-917.
- JOHNSTON, A. y BRUULSEMA, T. 2004. *Agricultural Nutrients and Climate Change. Crop Nutrients an the environment*. Progress Through Knowledge. PPI.PPIC.Saskatoo. Saskatchewan Cd.
- PALMA, R.M. et al. 1997. *Siembra Directa y Labranza convencional: Cambios que produce a largo plazo la fertilización sobre las fracciones de C y N del suelo*. Rev. Fac. Agronom. UBA 17 N° 3. pp.313-317.
- QUIROGA, A. et al. 1999. *Efectos de la Rotación y el manejo sobre los contenidos de MO, N y Fósforo de los suelos de la región semiárida pampeana*. Boletín de divulgación técnica N° 62. 1999.
- STEINBACH, H. y ALVAREZ, R. 2005. *Cambios en los contenidos de Carbono de los suelos pampeanos por introducción de la Siembra Directa*. Informaciones Agronómicas N° 25. pp.16-23. Inpofos.
- THUAR, A.M. et al. 2002. *Variaciones de Biomasa, actividad Biológica y población microbiana del Suelo en función de diferentes sistemas de labranzas*. XVIII Congreso Arg. de la C. del S. Actas. (42) Pto. Madryn. Chubut Arg.

# EFECTO DE LARGO PLAZO DE LA SIEMBRA DIRECTA Y DE ROTACIONES DE CULTIVOS SOBRE LOS RENDIMIENTOS, EL CARBONO Y NITRÓGENO ORGÁNICO, EN UN SUELO ARGIUJOL TÍPICO EN MARCOS JUÁREZ

por **Alfredo Lattanzi;**  
**Juan Arce;**  
**Hugo J. Marelli;**  
**Claudio Lorenzon**  
*Área Suelos y Producción Vegetal,*  
*EEA INTA Marcos Juárez, Argentina.*  
**Tomás Baigorria**  
*Profesional Independiente*

## I. INTRODUCCIÓN

El contenido de materia orgánica de un suelo depende en primer lugar, de sus propiedades físico-químicas y del ambiente. Sin embargo, es muy bien conocido que las prácticas de uso y de manejo tienen una fuerte influencia, pudiendo modificar su contenido inicial. Por este motivo, se utiliza el contenido de materia orgánica, o carbono total, como un indicador de la calidad del suelo y de la sostenibilidad de los sistemas productivos.

Las rotaciones de cultivos, sistemas de labranzas, fertilización y manejo de los residuos, son algunas de las prácticas que mayor efecto ejercen sobre el contenido de materia orgánica del suelo a través del tiempo.

En la región pampeana de Argentina el uso de rotaciones con pasturas permanentes con alfalfa, fue una de las prácticas más extendidas para mantener los contenidos de materia orgánica y fertilidad de los suelos, sin embargo, la producción de granos, por su mayor rentabilidad, fue reemplazando los sistemas mixtos agrícolas ganaderos con sus rotaciones de pasturas.

Actualmente, los sistemas agrícolas permanentes con SD predominan en toda la región. Dentro de es-

tos sistemas, el monocultivo de soja es una práctica predominante, creándose una seria preocupación sobre la sostenibilidad del sistema en el largo plazo.

A este fin, resultan muy útiles los ensayos de largo plazo, donde puede medirse el efecto de las rotaciones, sistemas de labranzas, fertilización y otras prácticas sobre los contenidos de carbono y nitrógeno total en el suelo y los niveles de rendimiento de los distintos cultivos. En este trabajo se utilizaron ensayos existentes en la Estación Experimental de Marcos Juárez para estudiar las variables descriptas y sus efectos en la sustentabilidad.

## II. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Los experimentos utilizados para este trabajo están ubicados en el predio de la EEA de Marcos Juárez (Lat. 32° 40' S). El clima es templado, subhúmedo, con una precipitación media anual de 860mm, concentrada en el período primavera-verano-otoño, con inviernos secos. El tipo de suelo es franco limoso, serie Marcos Juárez (Argiudol típico).

co). Es un suelo profundo, bien drenado, con un horizonte AP de 23cm, oscuro, pH 6.5 y un contenido de materia orgánica de 2.5% a 3.5% según uso. Fueron realizados 5 ensayos, cuyas características son las siguientes:

**a) Ensayo de monocultivo de soja con distintos sistemas de labranzas (S-S)**

Fue iniciado en 1975/76, para evaluar efectos de largo plazo de la Siembra Directa (SD) y la labranza convencional (LC), sobre las condiciones físico-químicas del suelo con monocultivo de soja. Actualmente posee 7 tratamientos (sistemas de labranzas), con dos niveles de fertilización (con y sin fertilizante a la siembra). Los sistemas de labranzas son los siguientes:

- LC 75 - Labranza con arado de rejas desde 1975
- LBC 75 - Labranza con arado de cinceles desde 1975
- SD 75 - Siembra Directa desde 1975
- SD 92 - Siembra Directa desde 1992
- SD 93 - Siembra Directa desde 1993
- SD 97 - Siembra Directa desde 1997
- SD 99 - Siembra Directa desde 1999

La fertilización de la mitad de cada parcela se inició en 1998/99, aplicando a la siembra una mezcla

de 11kg/ha de cada uno de los siguientes nutrientes: nitrógeno, fósforo y azufre. El diseño experimental es de bloques aleatorizados con parcela dividida. El tamaño de parcela es de 14.5m por 50m, con 4 repeticiones.

**b) Ensayo de rotaciones de cultivos con siembra directa (R-C)**

El ensayo se inició en 1975/76, con once rotaciones de cultivos anuales. Como todos los cultivos de cada rotación se siembran todos los años, el número de tratamiento es de 16. Durante los primeros años algunas rotaciones sufrieron modificaciones, eliminándose aquellas en que el trigo se hacía como único cultivo anual, quedando en evaluación las siguientes:

- M-M - Monocultivo de maíz
- So-So - Monocultivo de sorgo
- S-S - Monocultivo de soja
- G-G - Monocultivo de girasol
- T-T - Monocultivo de trigo
- M-S - Maíz- Soja
- So-S - Sorgo- Soja
- G-S - Girasol-Soja
- T /S - Trigo/ Soja
- T/S-M - Trigo- Soja-Maíz
- T/S-S - Trigo-Soja- Soja

**Cuadro 1.4.** Dosis media de fertilizantes (kg/ha) usados para soja, maíz y trigo.

Cultivos	FERTILIZANTES (kg/ha)		
	N	P	S
Soja de 1 <sup>ra</sup>	40	10	32
Maíz	80	12	28
Trigo	96	10	26

El diseño experimental es de bloques aleatorizados con dos repeticiones. El tamaño de parcelas es de 14.5m x 90m. Cada parcela está dividida en dos subparcelas de las cuales una recibe una dosis de fertilización a la siembra de cada cultivo.

El ensayo se inició con un sistema de labranza mínima para todos los tratamientos, posteriormente a medida que se hizo posible el uso de SD, se fue incorporando en las distintas secuencias. A partir de 1992 todo el ensayo se conduce con SD.

**c) Unidades demostrativas de sistema de producción**

Estas unidades funcionan dentro de la Estación Experimental y son representativas de tres sistemas de producción de la región Pampeana.

*1- Unidad Demostrativa Agrícola-Ganadera (UD-AG)*  
Esta unidad tiene una superficie de 186has divididas en 9 lotes, con una rotación, de cultivo de 4 años con pastura permanente con alfalfa, dedicada a producción bovina y 6 años de agricultura con una secuencia de soja-maíz-trigo-soja. Esta unidad se inició en 1976 y se mantiene en funcionamiento hasta la actualidad.

*2- Unidad Demostrativa Agrícola-Porcino (UD-AP)*  
Esta unidad tiene una superficie de 80has divididas en 4 lotes, con una rotación de 5 años de pasturas permanentes con alfalfa, dedicada a la producción porcina y 15 años de agricultura con una secuencia de soja-maíz- trigo- soja. Esta unidad se inició en 1978 y se mantiene en funcionamiento hasta la actualidad.

*3- Unidad Demostrativa Agrícola (UD-A)*  
Esta unidad tiene una superficie de 80has divididas en 4 lotes, con una rotación de cultivos anuales per-

manente con trigo-soja-maíz-soja. Esta unidad se inició en 1980 y se mantiene en funcionamiento hasta la actualidad.

Estas unidades se manejan con las tecnologías disponibles, realizando los cambios que se consideren necesarios para incorporar las nuevas. El sistema de labranza inicial fue con labranza mínima y bajo cubierta con arado de cinceles y posteriormente se fue incorporando la SD. A partir de 1990, todos los cultivos se realizan con este sistema. Del mismo modo, fueron cambiando los cultivares utilizados, las técnicas de control de malezas y fertilización entre otras.

### III. REALIZADAS

#### a) Rendimiento

En los ensayos de S-S y R-C, se dispone de los valores de rendimiento anuales de cada cultivo desde su inicio hasta la actualidad, excepto el de algunos años que se perdieron por distintos motivos. A los fines de este trabajo, se tomaron en cuenta solamente los valores de los últimos cinco años, considerando que el análisis de toda la serie de 30 años, tiene un alto grado de variabilidad por los cambios tecnológicos operados durante ese largo período. Entre estos cabe destacar los que se produjeron en los sistemas de siembra, control de malezas y fertilización en SD.

Se considera, que los rendimientos de los últimos cinco años, representan los efectos acumulativos de los distintos tratamientos de labranza y rotaciones de cada ensayo.

#### b) Contenido de Carbono Orgánico (CO) y Nitrógeno Orgánico (NO)

En cada uno de los ensayos utilizados, se tomaron muestras de suelos de las parcelas y/o lotes experimentales a tres profundidades, 0-5cm; 5-15cm y

15-25cm, para determinar carbono orgánico y nitrógeno orgánico. Las muestras fueron extraídas con barreno de 2.5cm de diámetro, apartando los residuos superficiales antes de la extracción. Las muestras fueron secadas al aire, tamizadas por mallas de 2 milímetros y conservadas a temperatura ambiente. Las determinaciones de carbono y nitrógeno se hicieron por el método de combustión con un Equipo LECO TRUSPEC.

## IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### RENDIMIENTOS

#### a) Ensayo de rotaciones de cultivos

##### a.1) Rendimientos de Soja de primera (único cultivo anual)

En el **Cuadro 1.5** y la **Figura 1.5**, se presentan los rendimientos de los últimos 5 años (2000 – 2004) de soja de primera en cada rotación. En ellos puede observarse, que el mayor rendimiento se obtiene cuando la soja sigue a sorgo, maíz y girasol. El menor rendimiento esta representado por la combinación trigo/soja-soja y en una situación intermedia se encuentra el monocultivo. La respuesta a la fertilización sólo fue significativa en soja después de sorgo. Este comportamiento de la soja de primera, coincide con la mayor disponibilidad de agua en el suelo a la siembra que se encuentra en los rastrojos de sorgo y maíz (**Cuadro 1.6**). Las precipitaciones en el ciclo del cultivo fueron de 443mm como promedio de los cinco años y se considera como suficiente para un buen desarrollo de la soja.

Durante el período de cinco años descripto, se utilizaron cultivares de soja resistentes a glifosato, lo que permitió un excelente control de malezas en SD y un óptimo desarrollo de los cultivos.

**Cuadro 1.5.** Rendimientos (kg/ha) de Soja de primera siembra.

AÑOS	ROTACIÓN									
	S-S		T/S-S		S-M		S-G		S-So	
	FERT	S/FERT								
1990/00	2601.58	2523.01	2767.45	2581.74	3112.69	3242.85	2919.04	3011.10	3335.71	3003.96
2000/01	2862.69	3111.89	3095.23	3170.63	2751.58	3001.58	2988.88	3265.07	3313.48	3276.18
2001/02	3098.21	3335.71	2853.56	2832.13	3371.42	3548.21	3201.78	3469.64	4266.06	3810.71
2002/03	3799.68	3844.65	3454.76	3501.07	4225.69	3872.17	4193.47	4259.86	4020.40	3897.29
2003/04	4191.11	3870.37	3417.03	3655.55	4423.70	4167.40	4034.07	4034.07	4657.77	4104.44
<b>Promedio</b>	<b>3310.65</b>	<b>3337.12</b>	<b>3117.60</b>	<b>3148.22</b>	<b>3577.01</b>	<b>3566.44</b>	<b>3467.44</b>	<b>3607.94</b>	<b>3918.68</b>	<b>3618.51</b>

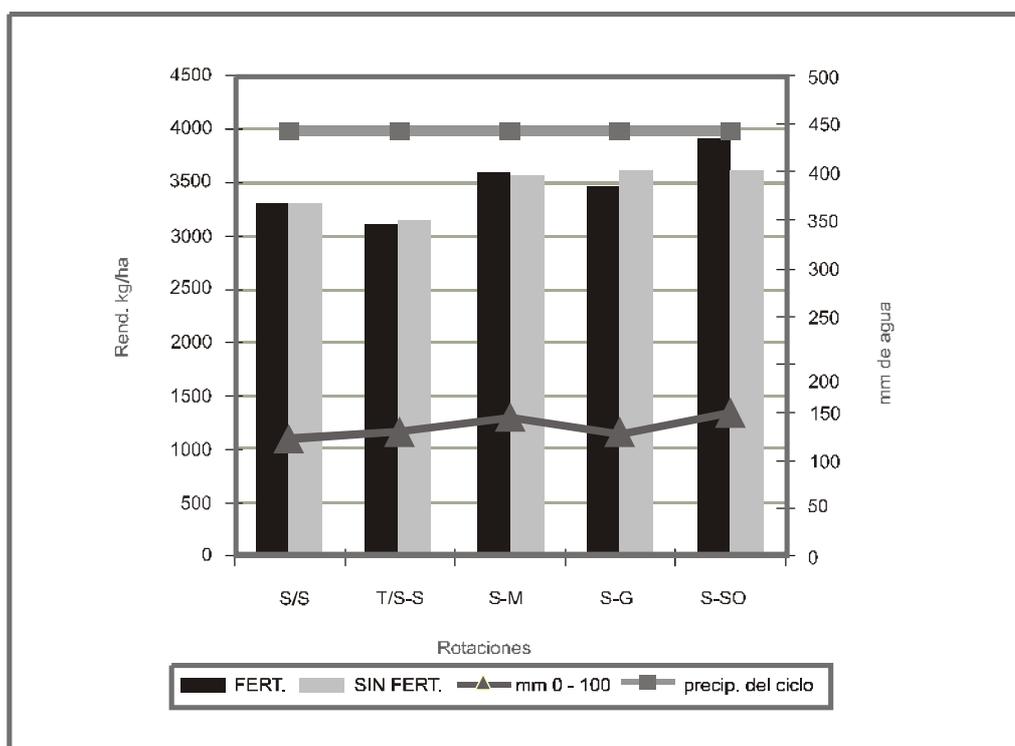


Figura 1.5. Rendimiento medio de 5 años de soja de primera, agua útil del suelo y milímetros de lluvia en el ciclo.

Cuadro 1.6. Agua útil en milímetros al metro de profundidad, a la siembra de la Soja de primera y milímetros de lluvia durante el ciclo del cultivo.

FECHA	PROF (cm)	ROTACIÓN					LLUVIA (mm)
		S-S	S-M	S-G	T/S-S	S-SO	
15/11/1999	0-100	125.67	152.42	122.32	139.07	146.76	414
20/11/2000	0-100	140.37	145.45	152.62	141.57	124.41	458
16/10/2001	0-100	125.04	147.33	154.77	136.58	167.24	417
08/11/2002	0-100	136.07	155.86	125.16	130.22	171.48	529
26/11/2003	0-100	86.66	122.00	86.95	103.57	133.62	394
<b>Promedio</b>	<b>0-100</b>	<b>122.76</b>	<b>144.61</b>	<b>128.36</b>	<b>130.20</b>	<b>148.70</b>	<b>443</b>

a.2) Rendimientos de Soja de segunda (soja en doble cultivo después del trigo)

En el Cuadro 1.7 y en la Figura 1.6 se detallan los rendimientos de soja de segunda siembra en cada rotación. En ellos se observa que el mayor rendimiento se obtiene cuando el cultivo anterior al doble cultivo fue maíz, en segundo término cuando fue después de soja de primera y el menor en el doble cultivo continuo. El mejor rendimiento coinci-

de con la mayor disponibilidad de agua en el rastreo de maíz (Cuadro 1.8). El promedio de precipitaciones durante el ciclo de cultivo fue de 439mm, el cual se considera adecuado para un buen desarrollo del cultivo. No hubo efecto residual de los fertilizantes aplicados en el cultivo del trigo antecesor sobre el rendimiento de la soja de segunda.

La soja de segunda no se fertilizó, se cosechó respetando la fertilización del cultivo anterior.

Cuadro 1.7. Rendimientos (kg/ha) de soja de segunda siembra.

AÑOS	ROTACIÓN					
	TS-S		T/S		T/S-M	
	FERT	S/FERT	FERT	S/FERT	FERT	S/FERT
1990/00	2223.01	1983.33	1913.48	2034.91	2414.28	2308.72
2000/01	2624.62	2633.56	2662.90	2724.38	2947.72	2886.61
2001/02	3157.14	3117.85	2858.92	3914.28	3155.35	3199.10
2002/03	3201.58	2923.80	2567.45	2821.42	3137.29	3195.23
2003/04	2650.36	2997.03	2659.25	2862.22	2879.25	2779.99
<b>Promedio</b>	<b>2771.34</b>	<b>2731.11</b>	<b>2532.40</b>	<b>2691.44</b>	<b>2906.77</b>	<b>2873.92</b>

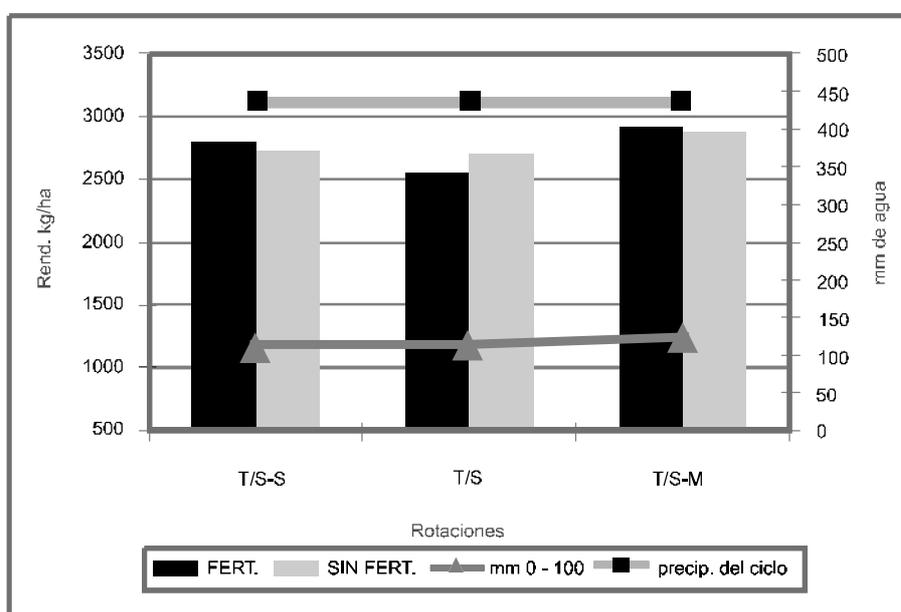


Figura 1.6. Rendimiento medio de 5 años de Soja de segunda, agua útil del suelo y milímetros de lluvia en el ciclo.

Cuadro 1.8. Agua útil en milímetros al metro de profundidad, a la siembra de la Soja de segunda y milímetros de lluvia durante el ciclo del cultivo.

FECHA	PROF (cm)	ROTACIÓN			LLUVIA (mm)
		T/S-S	T-S	T/S-M	
28/12/1999	0-100	140.75	139.67	152.98	367
20/12/2000	0-100	101.19	104.22	100.00	544
18/12/2001	0-100	99.14	117.56	135.43	486
06/01/2003	0-100	131.49	138.52	156.81	452
18/12/2003	0-100	75.55	69.17	76.76	345
<b>Promedio</b>	<b>0-100</b>	<b>109.62</b>	<b>113.82</b>	<b>124.39</b>	<b>439</b>

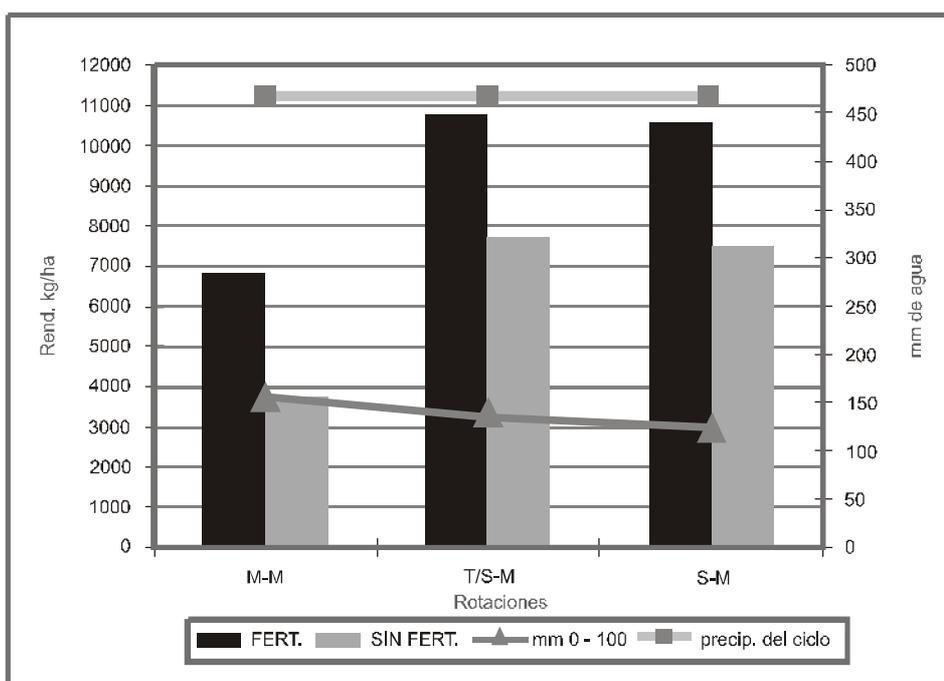
### a.3) Rendimientos de Maíz

Los rendimientos del maíz en cada una de las rotaciones se presentan en el **Cuadro 1.9** y en la **Figura 1.7**. Los mayores rendimientos corresponden a las rotaciones de T/S-M y S-M con una significativa respuesta a la fertilización en ambos casos. En la rotación M-M (monocultivo de maíz), los rendimientos fueron mucho menores aun con la fertiliza-

ción. Esta diferencia es atribuible a un mayor grado de enmalezamiento, con especies difíciles de controlar en el monocultivo y a una menor disponibilidad de nitrógeno en el cultivo antecesor. Actualmente, con nuevos híbridos resistentes al glifosato se podrá eliminar el efecto de las malezas y con una mayor dosis de fertilización tratar de aumentar los rendimientos del monocultivo.

**Cuadro 1.9.** Rendimientos (kg/ha) de Maíz.

AÑOS	ROTACIÓN					
	M-M		T/S-M		S-M	
	FERT	S/FERT	FERT	S/FERT	FERT	S/FERT
1990/00	844.44	683.33	6238.88	4294.44	5261.10	3522.22
2000/01	7649.20	4180.15	11425.39	8311.10	11390.47	7827.77
2001/02	7004.75	5297.61	12040.47	7899.99	11214.27	7804.75
2002/03	9528.79	4187.47	13113.55	10441.21	13414.91	10159.83
2003/04	9197.61	4313.48	11148.41	7327.77	11524.59	8028.56
<b>Promedio</b>	<b>6844.95</b>	<b>3732.40</b>	<b>10793.34</b>	<b>7654.90</b>	<b>10561.06</b>	<b>7468.62</b>



**Figura 1.7.** Rendimiento medio de 5 años de Maíz, agua útil del suelo y milímetros de lluvia en el ciclo.

**Cuadro 1.10.** Agua útil en milímetros al metro de profundidad, a la siembra de Maíz y milímetros de lluvia durante el ciclo del cultivo.

FECHA	PROF (cm)	ROTACIÓN			LLUVIA (mm)
		M-M	T/S-M	S-M	
29/09/1999	0-100	156.47	132.85	121.08	417
30/11/2000	0-100	168.68	156.30	148.68	467
17/09/2001	0-100	153.44	130.27	118.21	463
04/10/2002	0-100	150.24	143.00	107.69	535
26/11/2003	0-100	129.00	119.59	118.93	461
<b>Promedio</b>	<b>0-100</b>	<b>151.56</b>	<b>136.40</b>	<b>122.92</b>	<b>469</b>

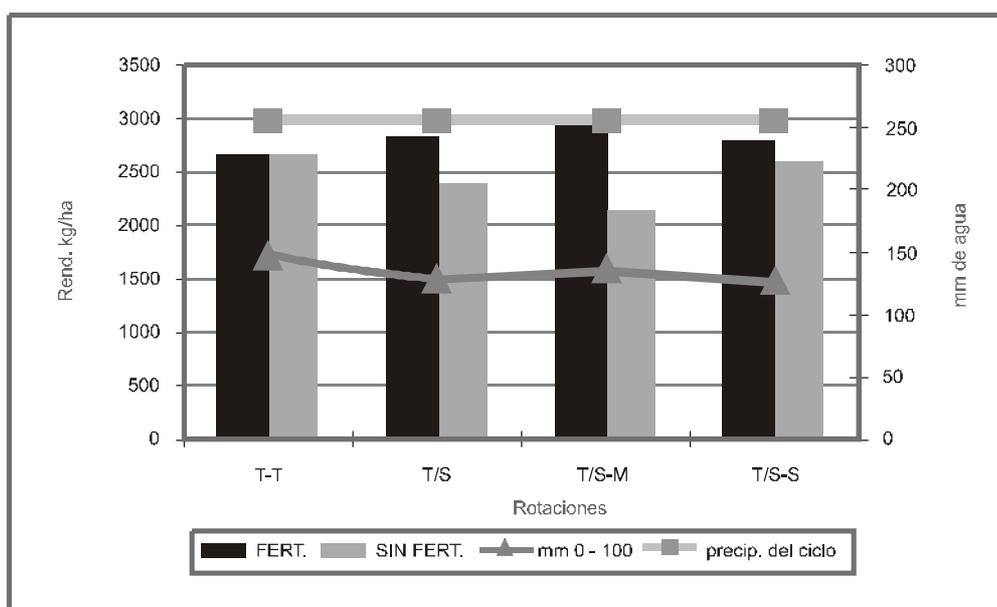
#### a.4) Rendimientos de Trigo

En el **Cuadro 1.11** y en la **Figura 1.8**, se presentan los rendimientos de trigo para cada rotación. En primer lugar, se puede observar una amplia respuesta a la fertilización, especialmente cuando sigue al cultivo de maíz. Con las dosis de fertilizantes

utilizadas, las diferencias entre rotaciones tienden a desaparecer. Cabe destacar que en la rotación T/S-S no presentan respuestas significativas a la fertilización, atribuible a una mayor disponibilidad de nitrógeno por efecto del cultivo de soja antecesor.

**Cuadro 1.11.** Rendimientos (kg/ha) de Trigo.

AÑOS	ROTACIÓN							
	T-T		T/S		T/S-M		T/S-S	
	FERT	S/FERT	FERT	S/FERT	FERT	S/FERT	FERT	S/FERT
1990/00	3925.92	3527.77	4046.29	3055.55	3958.33	2777.77	3754.62	3578.70
2000/01	2843.51	2817.60	2387.95	2722.21	3393.51	3011.10	3410.18	3440.70
2001/02	1648.14	1636.10	1852.77	1387.96	1744.44	1370.36	972.22	928.70
2002/03	1841.66	1477.77	2549.99	2299.07	2565.74	1574.07	2273.14	1769.43
2003/04	2993.51	2419.44	3262.03	2408.32	3276.85	1897.21	3516.66	3201.85
<b>Promedio</b>	<b>2650.54</b>	<b>2375.73</b>	<b>2819.80</b>	<b>2374.62</b>	<b>2987.77</b>	<b>2126.10</b>	<b>2785.36</b>	<b>2583.87</b>



**Figura 1.8.** Rendimiento medio (kg/ha) de 5 años de Trigo, agua útil del suelo y milímetros de lluvia en el ciclo.

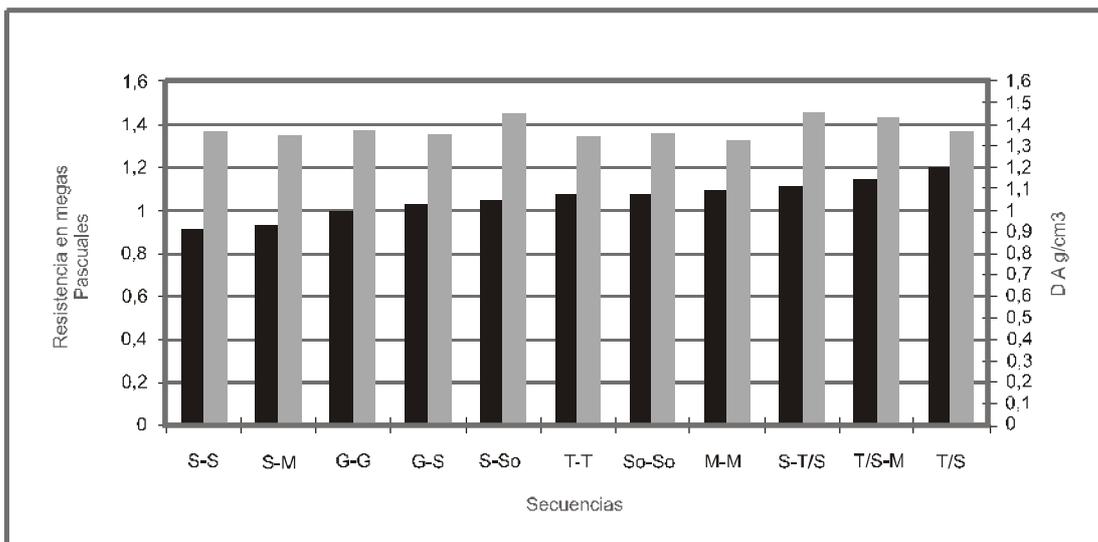
**Cuadro 1.12.** Agua útil en milímetros al metro de profundidad, a la siembra de Trigo y milímetros de lluvia durante el ciclo del cultivo.

FECHA	PROF (cm)	ROTACIÓN				LLUVIA (mm)
		T-T	T/S	T/S-M	T/S-S	
01/06/1999	0-100	128.89	127.80	126.16	124.05	224
22/06/2000	0-100	160.36	124.36	134.83	121.55	319
06/06/2001	0-100	111.27	119.84	135.60	112.66	321
06/06/2002	0-100	169.25	128.37	129.21	133.86	250
04/06/2003	0-100	161.47	141.03	152.80	144.80	168
<b>Promedio</b>	<b>0-100</b>	<b>146.25</b>	<b>128.28</b>	<b>135.72</b>	<b>127.38</b>	<b>256</b>

## V. DENSIDAD APARENTE Y RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

En la **Figura 1.9**, se presentan los valores de densidad aparente (DA) y resistencia a la penetración del suelo en la profundidad de 5-10cm. La densidad aparente varía entre 1.35 y 1.42g/cm<sup>3</sup>, sin diferen-

cias importantes entre rotaciones. Tampoco se observa una correlación entre DA y resistencia a la penetración. Los valores son normales para suelos en SD y se considera que no es una limitante para el desarrollo de los cultivos.



**Figura 1.9.** Resistencia a la Penetración (megaPascales) y Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>), 5-10cm.

### b) Ensayo de monocultivo de soja con diferentes sistemas de labranzas

#### b1) Rendimientos de Soja

En el **Cuadro 1.15** y en la **Figura 1.10** se presentan los rendimientos de los últimos cinco años del ensayo. Si bien no se encuentran diferencias significativas entre sistemas de labranzas, el tratamien-

to de labranza convencional (LC 75) tiene un nivel menor que el resto de los tratamientos con SD, especialmente cuando no se fertiliza.

**Cuadro 1.13.** Promedio de fertilizantes usados en cinco años (kg/ha).

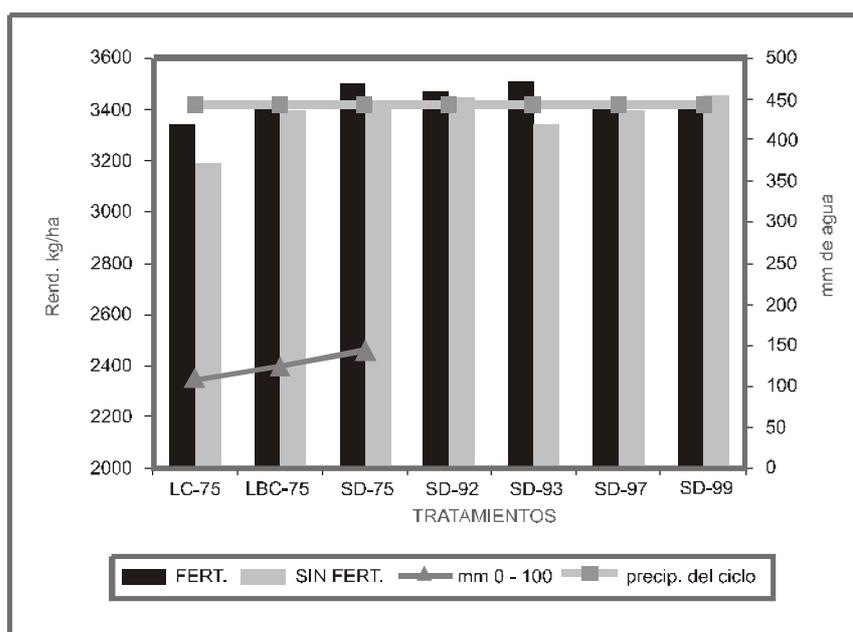
<b>NITRÓGENO</b> 11.2	<b>FÓSFORO</b> 11.5	<b>AZUFRE</b> 11.95
--------------------------	------------------------	------------------------

**Cuadro 1.14.** Milímetros de agua útil a la siembra, al metro de profundidad, y milímetros de lluvia en el ciclo.

CICLO	TRATAMIENTOS			LLUVIA (mm)
	1-LC	6-SD	7-LBC	
99/2000	111.68	145.5	123.10	414.30
00/2001	106.09	144.16	131.40	458.00
01/2002	131.39	153.80	144.21	417.4
02/2003	100.31	153.10	111.92	529.40
03/2004	94.55	117.00	112.95	393.56
<b>Promedio</b>	<b>108.80</b>	<b>142.71</b>	<b>124.71</b>	<b>442.56</b>

**Cuadro 1.15.** Rendimiento (kg/ha) de soja con siete sistemas de labranza. Valores promedios de cuatro repeticiones.

FECHA	TRATAMIENTOS													
	LC75		SD92		SD99		SD93		SD97		SD75		LBC75	
	F	S/F												
99/2000	2683.56	2682.13	2708.56	2725.71	2695.71	2809.28	2794.99	2560.70	2719.99	2672.85	2790.71	2545.71	2543.56	2377.13
00/2001	3447.85	3054.99	3386.42	3518.56	3339.28	3561.42	3368.56	3230.71	3415.71	3512.85	3477.85	3574.28	3348.56	3404.28
01/2002	3064.28	2905.71	3489.99	3214.99	3254.28	3167.85	3337.14	3198.56	3230.71	3206.42	3436.42	3286.42	3230.71	3174.99
02/2003	3694.99	3648.56	3661.42	3733.56	3693.56	3785.71	3685.71	3802.13	3563.56	3505.71	3544.99	3666.42	3885.71	4017.13
03/2004	3774.57	3619.91	4079.90	4012.57	4063.23	3932.57	4338.56	3883.24	4157.23	4057.23	4265.23	4051.23	3962.57	3980.57
<b>Promedio</b>	<b>3333.05</b>	<b>3182.26</b>	<b>3465.25</b>	<b>3441.07</b>	<b>3409.21</b>	<b>3451.36</b>	<b>3504.99</b>	<b>3335.06</b>	<b>3417.44</b>	<b>3391.01</b>	<b>3503.04</b>	<b>3424.81</b>	<b>3394.22</b>	<b>3390.82</b>



**Figura 1.10.** Rendimiento (kg/ha) medio de 5 años de Soja, agua útil del suelo y milímetros de lluvia en el ciclo.

## VI. CONCLUSIONES SOBRE RENDIMIENTOS

Los resultados obtenidos en ambos ensayos nos permiten extraer las siguientes conclusiones:

- Los mejores antecesores para soja de 1<sup>era</sup>. son cultivos de sorgo, maíz y girasol.
- El mejor antecesor para maíz es el cultivo de soja, ya sea de primera o de segunda.
- El mejor antecesor para trigo es el maíz cuando se prevé una correcta fertilización. En segundo término es el cultivo de soja de primera o de segunda con un menor requerimiento de fertilización
- El mejor antecesor de soja en doble cultivo con trigo es el maíz.
- En base a estos comportamientos de cultivos antecesores, las rotaciones más eficientes para sistemas agrícolas permanentes en SD de la región serían trigo/soja-maíz; maíz-soja y sorgo-soja o trigo/soja-maíz-soja.
- El monocultivo en ningún caso supera a las rotaciones.

## VII. CONTENIDO DE CARBONO Y NITRÓGENO TOTAL

### a) Ensayo de monocultivo de soja (S-S)

En los **Cuadros 1.16 y 1.17**, se presentan los contenidos de carbono y nitrógeno total en tres profundidades, para cada sistema de labranza con o sin fertilización anual. En el primer cuadro se expresan los valores en g/kg de suelo y en el segundo en tt/ha ajustado según la densidad aparente de cada profundidad de suelo.

Considerando, que no se observa efecto de la fertilización en el contenido de carbono y nitrógeno, en la **Figura 1.11** se presentan el contenido de carbono total en tt/ha para cada sistema de labranza con fertilización. En el mismo, se puede observar que los tratamientos con SD superan en contenido de carbono a los de LC y LBC. Las diferencias más notables se encuentran en los primeros 5 centímetros de profundidad. Entre los tratamientos SD, el mayor nivel está en SD75 y SD92, disminuyendo ligeramente en los que tienen menos años en SD; SD93, SD97, SD99. El contenido de nitrógeno total muestra el mismo comportamiento descrito para carbono total.

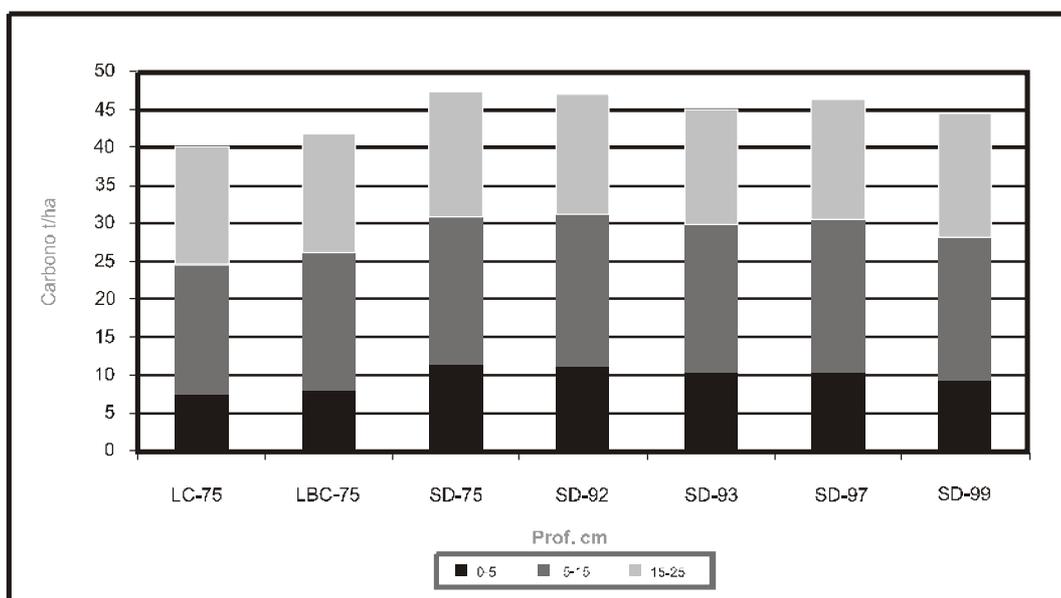
**Cuadro 1.16.** Efecto de siete sistemas de labranza con y sin fertilización sobre el contenido de Carbono y Nitrógeno total, de un suelo Argiudol típico con monocultivo de Soja durante 30 años.

SISTEMA DE LABOREO	FERT.	CARBONO TOTAL			NITRÓGENO TOTAL		
		(g/kg de suelo)			(g/kg de suelo)		
		PROFUNDIDAD (cm)			PROFUNDIDAD (cm)		
		0-5	5-15	15-25	0-5	5-15	15-25
LC75	SI	12.87	14.82	11.38	1.36	1.22	1.14
	NO	12.67	14.75	11.88	1.36	1.37	1.13
LBC75	SI	15.18	15.07	11.47	1.60	1.23	1.08
	NO	15.05	15.53	10.96	1.68	1.45	1.05
SD75	SI	20.57	14.78	11.95	2.19	1.26	1.15
	NO	20.58	15.19	12.19	2.12	1.47	1.13
SD92	SI	17.50	14.49	11.7	1.88	1.23	1.15
	NO	17.06	14.49	11.92	1.75	1.33	1.08
SD93	SI	17.53	14.47	11.07	1.78	1.14	1.15
	NO	17.26	14.36	11.84	1.75	1.33	1.16
SD97	SI	16.89	15.34	11.69	1.82	1.33	1.15
	NO	16.84	14.93	11.37	1.84	1.45	1.18
SD99	SI	15.31	14.41	11.9	1.65	1.20	1.14
	NO	16.24	14.56	11.9	1.75	1.35	1.16

REF: LC: Labranza convencional; LBC: Labranza bajo cubierta; SD: Siembra directa

**Cuadro 1.17.** Efecto de siete sistemas de labranza y la fertilización sobre el contenido de Carbono y Nitrógeno total, de un suelo Argiudol típico con monocultivo de Soja durante 30 años. Valores expresados en t/ha ajustada por Densidad Aparente.

SISTEMA DE LABOREO	FERT.	CARBONO TOTAL				NITRÓGENO TOTAL			
		(g/kg de suelo)				(g/kg de suelo)			
		PROFUNDIDAD (cm)				PROFUNDIDAD (cm)			
		0-5	5-15	15-25	0-25	0-5	5-15	15-25	0-25
LC75	SI	7.30	17.30	15.36	39.90	0.69	1.40	1.54	3.63
	NO	7.15	17.00	16.17	40.30	0.69	1.58	1.52	3.79
LBC75	SI	8.00	18.20	15.48	41.70	0.85	1.41	1.46	3.72
	NO	7.98	17.85	14.80	40.60	0.89	1.67	1.41	3.97
SD75	SI	11.40	19.60	16.13	47.10	1.21	1.64	1.55	4.40
	NO	11.42	19.74	16.45	47.60	1.18	1.91	1.52	4.61
SD92	SI	11.20	20.00	15.79	47.00	1.20	1.66	1.55	4.41
	NO	10.92	19.85	16.09	46.80	1.12	1.82	1.56	4.39
SD93	SI	10.20	19.70	14.94	44.80	1.03	1.53	1.55	4.11
	NO	10.01	19.24	15.98	45.20	1.01	1.78	1.56	4.35
SD97	SI	10.30	20.40	15.78	46.50	1.11	1.73	1.55	4.39
	NO	10.27	19.40	15.34	45.00	1.12	1.88	1.59	4.59
SD99	SI	9.30	19.00	16.06	44.30	1.00	1.57	1.54	4.11
	NO	9.82	19.07	16.06	45.00	1.06	1.77	1.56	4.39



**Figura 1.11.** Contenido de Carbono total (tt/ha) en el suelo Argiudol típico manejado con distintos sistemas de labranza en monocultivo de Soja, durante 30 años.

## b) Ensayos de rotaciones de cultivos

En los **Cuadros 1.18** y **1.19**, se presentan los contenidos de carbono y nitrógeno total en tres profundidades de suelo para cada rotación con o sin fertilización anual.

En el primer cuadro, se expresan los valores en g/kg de suelo y en el segundo, en t/ha ajustado por la densidad aparente de cada profundidad. En la **Figura 1.12**, se presentan los contenidos de carbono para cada rotación con o sin fertilización para la profundidad total de 0-25cm.

**Cuadro 1.18.** Efecto de once rotaciones de cultivos con y sin fertilización sobre el contenido de Carbono y Nitrógeno total, en un suelo Argiudol típico en Siembra Directa durante 30 años.

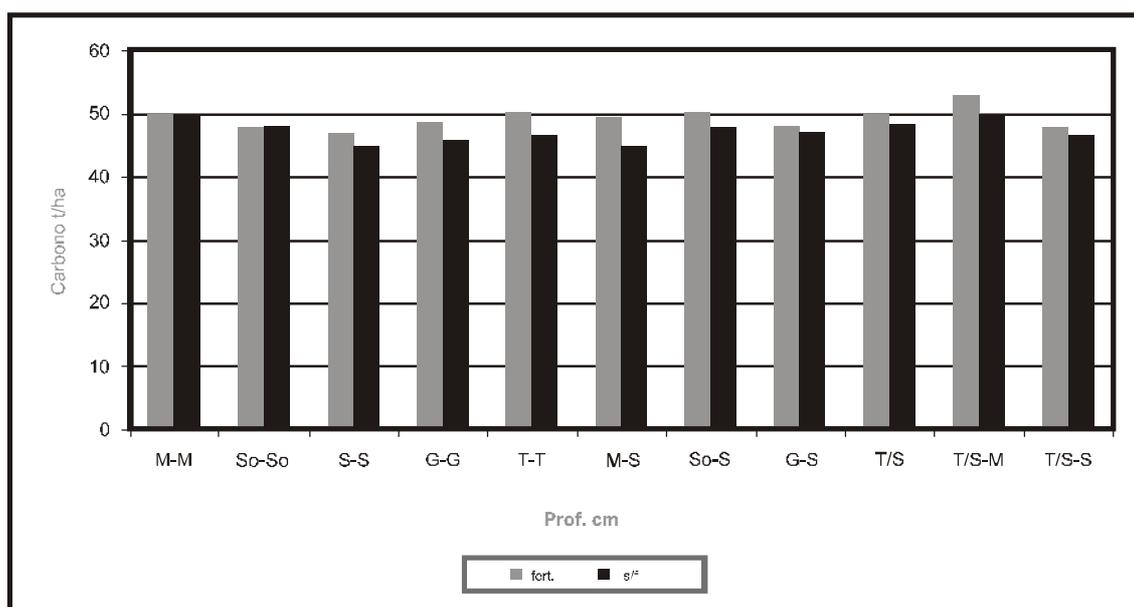
SISTEMA DE LABOREO	FERT.	CARBONO TOTAL			NITRÓGENO TOTAL		
		(g/kg de suelo)			(g/kg de suelo)		
		PROFUNDIDAD (cm)			PROFUNDIDAD (cm)		
		0-5	5-15	15-25	0-5	5-15	15-25
M-M	SI	21.17	15.07	11.45	2.08	1.34	1.01
	NO	20.95	13.82	12.36	2.00	1.41	1.16
So-So	SI	20.95	13.41	11.73	1.90	1.33	1.20
	NO	20.45	13.70	12.05	2.06	1.36	1.19
S-S	SI	19.10	14.16	11.17	1.82	1.30	1.02
	NO	19.85	12.56	11.17	1.52	1.42	1.00
G-G	SI	22.50	13.92	11.33	1.99	1.35	1.20
	NO	20.73	12.73	11.18	1.99	1.25	1.18
T-T	SI	21.00	16.60	11.89	1.61	1.38	1.00
	NO	20.25	13.79	11.73	1.83	1.40	1.19
M-S	SI	21.27	14.85	11.13	1.63	1.38	1.05
	NO	20.70	12.79	10.07	1.83	1.26	1.10
So-S	SI	21.80	14.05	11.52	1.81	1.30	1.07
	NO	21.05	13.14	11.55	1.84	1.38	1.10
G-S	SI	22.55	13.17	11.77	2.03	1.34	1.11
	NO	21.20	12.84	11.27	1.96	1.34	1.08
T/S	SI	20.80	15.39	11.99	1.97	1.66	1.08
	NO	19.60	13.95	12.26	1.86	1.52	1.23
T/S-M	SI	22.72	15.08	12.02	2.01	1.35	1.15
	NO	21.82	13.64	11.77	1.89	1.41	1.13
T/S-S	SI	20.95	13.54	11.61	1.98	1.42	1.23
	NO	20.05	13.56	11.06	1.89	1.42	1.12

REF: M: maíz; So: sorgo; G: girasol; T: trigo

**Cuadro 1.19.** Efecto de once rotaciones de cultivos y la fertilización sobre el contenido de Carbono y Nitrógeno total, en un suelo Argiudol típico en Siembra Directa durante 30 años.

ROTACIÓN DE CULTIVOS	FERT.	CARBONO TOTAL				NITRÓGENO TOTAL			
		(tt/ha)				(tt/ha)			
		PROFUNDIDAD (cm)				PROFUNDIDAD (cm)			
		0-5	5-15	15-25	0-25	0-5	5-15	15-25	0-25
M-M	SI	12.91	20.73	16.03	49.67	1.24	1.85	1.41	4.50
	NO	12.46	19.00	17.30	48.76	1.19	1.95	1.62	4.76
So-So	SI	12.88	18.57	16.42	47.87	1.17	1.85	1.68	4.70
	NO	12.58	18.58	16.87	48.03	1.27	1.89	1.67	4.83
S-S	SI	11.36	19.47	15.64	46.47	1.08	1.79	1.43	4.30
	NO	11.81	17.27	15.64	44.72	0.94	1.96	1.40	4.30
G-G	SI	13.72	19.00	15.86	48.58	1.21	1.84	1.68	4.73
	NO	12.64	17.38	15.65	45.67	1.21	1.71	1.65	4.57
T-T	SI	12.68	21.82	15.65	50.15	0.93	1.86	1.40	4.19
	NO	11.64	18.62	16.42	46.68	1.06	1.89	1.67	4.62
M-S	SI	13.60	20.22	15.58	49.40	1.04	1.90	1.47	4.41
	NO	13.22	17.32	14.09	44.63	1.17	1.70	1.54	4.41
So-S	SI	14.00	19.91	16.13	50.04	1.17	1.84	1.50	4.51
	NO	13.54	18.06	16.17	47.77	1.18	1.97	1.54	4.69
G-S	SI	13.18	18.28	16.48	47.94	1.19	1.87	1.55	4.61
	NO	12.37	18.82	15.78	46.97	1.06	1.83	1.51	4.40
T/S	SI	12.17	20.94	16.78	49.89	1.07	2.26	1.51	4.84
	NO	12.00	18.96	17.16	48.12	0.97	2.06	1.72	4.75
T/S-M	SI	14.49	21.57	16.83	52.89	1.29	1.93	1.61	4.83
	NO	13.90	19.51	16.48	49.89	1.21	2.00	1.58	4.79
T/S-S	SI	12.46	19.02	16.25	47.73	1.18	1.99	1.72	4.89
	NO	11.94	19.06	15.48	46.48	1.13	2.00	1.57	4.70

REF: M: maíz; So: sorgo; G: girasol; T: trigo

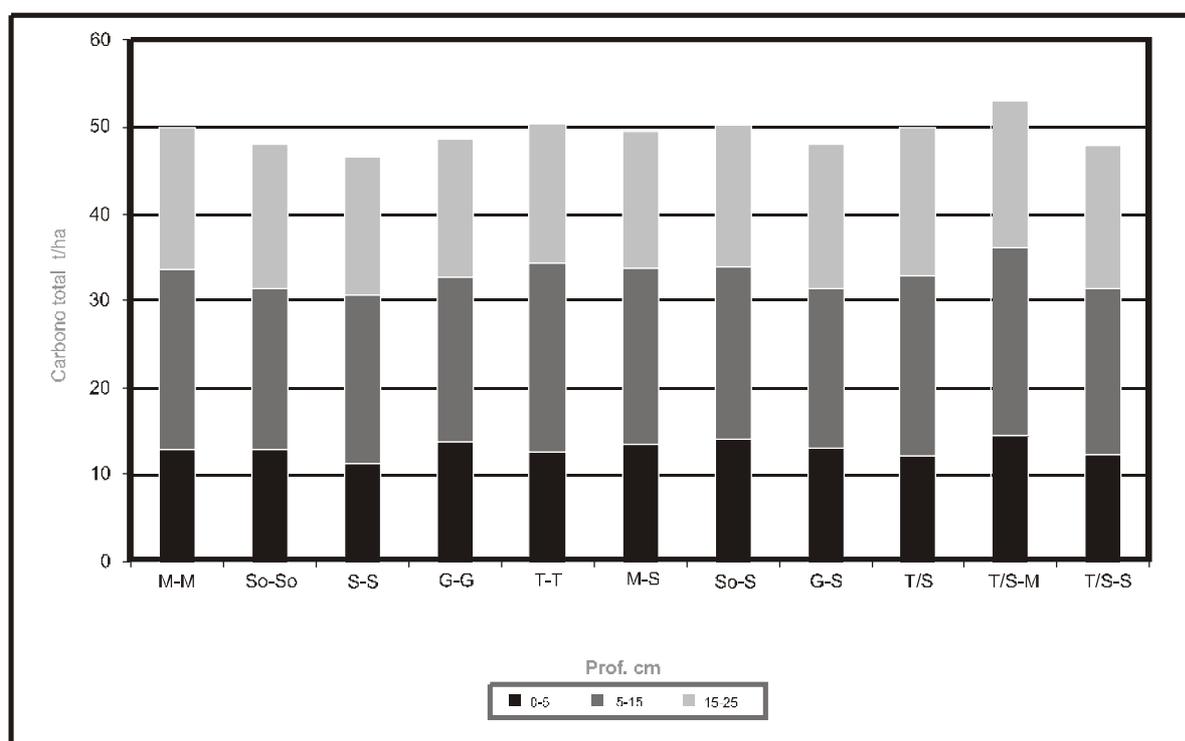


**Figura 1.12.** Contenido de Carbono total en tt/ha en la profundidad 0-36cm, en un suelo Argiudol típico con 11 rotaciones de cultivos con o sin fertilización anual.

En la **Figura 1.13**, se presentan los contenidos de carbono para todas las rotaciones con fertilización anual en las tres profundidades. En primer término, se puede observar que las diferencias entre rotaciones son relativamente pequeñas ubicándose todas dentro de un rango de 44 a 53t/ha de carbono total, de 0-25cm de profundidad. Los valores más bajos corresponden a rotaciones con alta proporción de soja y baja proporción de gramíneas: S-S, T/S-S; G-S, mientras que los valores más altos corresponden a combinaciones de soja con

gramíneas o gramíneas solas: T/S-M, So-S, T/S, T-T, M-M y M-S. Esto nos indica que la cantidad de carbono en el suelo mantiene una relación directa con el volumen de residuos de los cultivos de cada rotación, pero no directamente proporcional.

Aparentemente la mayoría de las rotaciones evaluadas alcanzan un punto de equilibrio cercano a las 50t/ha de carbono total, independientemente del volumen de residuos de cada rotación



**Figura 1.13.** Contenido de Carbono total en un suelo Argiudol típico manejado con distintas rotaciones de cultivos en Siembra Directa, con fertilización anual durante 30 años.

### c) Ensayos de unidades demostrativas

En los **Cuadros 1.20 y 1.21**, se muestran los contenidos de carbono y nitrógeno total, para tres profundidades de cada lote de las tres Unidades Demostrativas evaluadas y el promedio de cada una. En la **Figura 1.14**, se presentan los contenidos medios de carbono total en tt/ha de cada unidad. En el mismo se observa que el mayor contenido se encuentra en la UD-A Bovino, y en orden decreciente en la UD-A Porcino y el menor en la UD-Agrícola.

Este resultado se podría explicar por la mayor intensidad de uso de pasturas permanentes en la UD-AB comparado con la UD- AP y la ausencia de estas en la UD-A, ya que la secuencia agrícola en las tres unidades están basadas en trigo, soja y maíz en SD permanente.

**Cuadro 1.20.** Efecto de tres sistemas de producción: Agrícola-Ganadera; Agrícola Porcina y Agrícola sobre el contenido de Carbono y Nitrógeno total, en un suelo Argiudol típico durante 25 años.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y N° DE LOTE	CARBONO TOTAL			NITRÓGENO TOTAL		
	(g/kg de suelo)			(g/kg de suelo)		
	PROFUNDIDAD (cm)			PROFUNDIDAD (cm)		
	0-5	5-15	15-25	0-5	5-15	15-25
<b>UD-AG 1</b>	22.63	16.32	12.53	2.37	1.16	1.15
<b>UD-AG 2</b>	23.02	17.17	12.94	2.23	1.42	1.33
<b>UD-AG 3</b>	23.85	16.04	14.98	2.23	1.17	1.46
<b>UD-AG 4</b>	22.90	17.78	13.75	1.94	1.43	1.09
<b>UD-AG 5</b>	27.16	17.93	15.73	2.23	1.25	0.99
<b>UD-AG 6</b>	25.52	16.73	12.87	2.29	1.20	1.17
<b>UD-AG 7</b>	25.45	19.31	13.87	2.31	1.23	1.29
<b>UD-AG 8</b>	24.15	16.97	13.29	1.82	1.04	1.23
<b>UD-AG 9</b>	23.52	17.18	13.15	1.96	1.22	0.95
<b>Promedio</b>	<b>24.24</b>	<b>17.20</b>	<b>13.67</b>	<b>2.15</b>	<b>1.23</b>	<b>1.18</b>
<b>UD-AP 1</b>	26.19	17.41	10.99	2.45	1.54	0.99
<b>UD-AP 2</b>	28.62	15.22	10.78	2.41	1.24	1.00
<b>UD-AP 3</b>	25.79	15.85	11.45	2.34	1.28	0.82
<b>UD-AP 4</b>	25.09	16.51	11.08	2.18	1.35	1.07
<b>Promedio</b>	<b>26.42</b>	<b>16.24</b>	<b>11.07</b>	<b>2.35</b>	<b>1.35</b>	<b>0.97</b>
<b>UD-A 1</b>	21.99	14.99	10.94	2.03	1.34	0.90
<b>UD-A 2</b>	22.94	14.94	10.18	1.65	1.30	0.90
<b>UD-A 3</b>	26.04	15.14	10.37	1.92	1.51	0.89
<b>UD-A 4</b>	21.95	14.87	9.92	1.56	1.27	0.88
<b>Promedio</b>	<b>23.23</b>	<b>14.98</b>	<b>10.17</b>	<b>1.79</b>	<b>1.35</b>	<b>0.89</b>

REF: UD-AG: Unidad Demostrativa Agrícola Bovina; UD-AP: Unidad Demostrativa Agrícola Porcina; UD-A: Unidad Demostrativa Agrícola.

**Cuadro 1.21.** Efecto de tres sistemas de producción: Agrícola Ganadero, Agrícola Porcino y Agrícola sobre el Contenido de Carbono y Nitrógeno total, en un suelo Argiudol típico durante 25 años.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y N° DE LOTE	CARBONO TOTAL				NITRÓGENO TOTAL			
	(tt/ha)				(tt/ha)			
	PROFUNDIDAD (cm)				PROFUNDIDAD (cm)			
	0-5	5-15	15-25	0-25	0-5	5-15	15-25	0-25
<b>UD-AG 1</b>	15.40	22.50	17.10	55.00	1.61	1.60	1.57	4.78
<b>UD-AG 2</b>	15.60	23.70	17.70	57.00	1.52	1.96	1.82	5.30
<b>UD-AG 3</b>	15.30	21.50	20.50	57.30	1.43	1.58	2.00	5.01
<b>UD-AG 4</b>	14.60	23.80	18.80	57.20	1.24	1.92	1.50	4.66
<b>UD-AG 5</b>	17.40	24.00	21.50	62.90	1.43	1.68	1.35	4.46
<b>UD-AG 6</b>	16.30	22.40	17.60	56.30	1.47	1.61	1.60	4.68
<b>UD-AG 7</b>	16.30	25.90	19.00	61.20	1.48	1.65	1.76	4.89
<b>UD-AG 8</b>	15.50	23.40	18.20	57.10	1.16	1.43	1.75	4.34
<b>UD-AG 9</b>	15.50	23.00	18.00	56.00	1.25	1.64	1.30	4.19
<b>Promedio</b>	<b>15.70</b>	<b>23.30</b>	<b>18.70</b>	<b>57.70</b>	<b>1.40</b>	<b>1.67</b>	<b>1.61</b>	<b>4.68</b>
<b>UD-AP 1</b>	16.60	24.40	15.16	56.10	1.56	2.15	1.36	5.07
<b>UD-AP 2</b>	19.20	221.30	14.80	55.30	1.61	1.73	1.38	4.72
<b>UD-AP 3</b>	16.40	22.20	15.80	54.40	1.48	1.80	1.13	4.41
<b>UD-AP 4</b>	15.90	23.10	15.30	54.30	1.38	1.89	1.47	4.74
<b>Promedio</b>	<b>17.00</b>	<b>22.70</b>	<b>15.27</b>	<b>55.00</b>	<b>1.50</b>	<b>1.89</b>	<b>1.34</b>	<b>4.73</b>
<b>UD-A 1</b>	13.30	20.38	15.00	48.70	1.23	1.82	1.23	4.28
<b>UD-A 2</b>	13.80	20.31	13.90	48.00	1.00	1.77	1.23	4.00
<b>UD-A 3</b>	15.70	20.59	14.20	50.50	1.16	2.06	1.22	4.44
<b>UD-A 4</b>	13.30	20.22	13.60	47.10	0.95	1.73	1.20	3.88
<b>Promedio</b>	<b>14.00</b>	<b>20.40</b>	<b>14.00</b>	<b>48.50</b>	<b>1.08</b>	<b>1.84</b>	<b>1.22</b>	<b>4.15</b>

REF: UD-AG: Unidad Demostrativa Agrícola Bovina; UD-AP: Unidad Demostrativa Agrícola Porcino;  
UD-A: Unidad Demostrativa Agrícola.

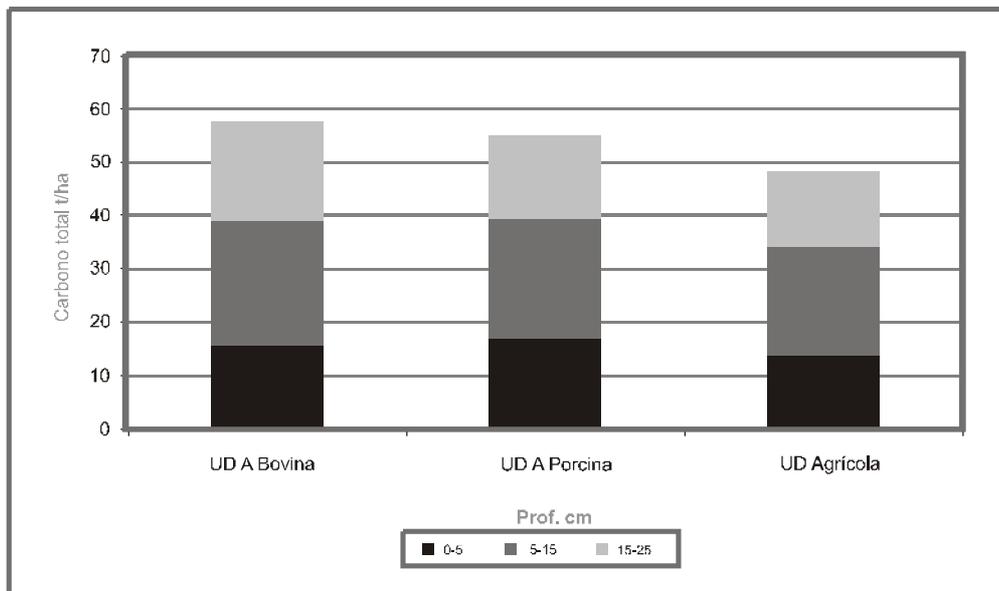


Figura 1.14. Contenido de Carbono total en un suelo Argiudol típico, manejado en tres sistemas de producción durante 28 años.

#### d) Análisis comparativo de los cinco ensayos evaluados

En la **Figura 1.15** se presentan los valores de carbono total de dos tratamientos del ensayo de monocultivo de soja (LC 75 y SD 75), tres tratamientos del ensayo de rotaciones (S-S; M-M y T/S-M), las tres Unidades Demostrativas y el de una muestra de suelo virgen extraída en el terreno del ferrocarril. En esta figura podemos observar que el nivel más bajo corresponde al monocultivo de soja con LC, el cual tiene un 50% del suelo virgen y el

valor más alto, corresponde a la UD-AB que tiene un 65% del suelo virgen. La UD-AP tiene un nivel ligeramente inferior. Los 5 tratamientos restantes son todas las rotaciones agrícolas en SD, entre estas se destacan con un nivel ligeramente mayor las rotaciones de T/S-M; y M-M comparada con las dos restantes que son monocultivo de soja en SD (SD 75 Y S-S). La UD-Agrícola tiene un nivel similar al promedio de las rotaciones descritas.

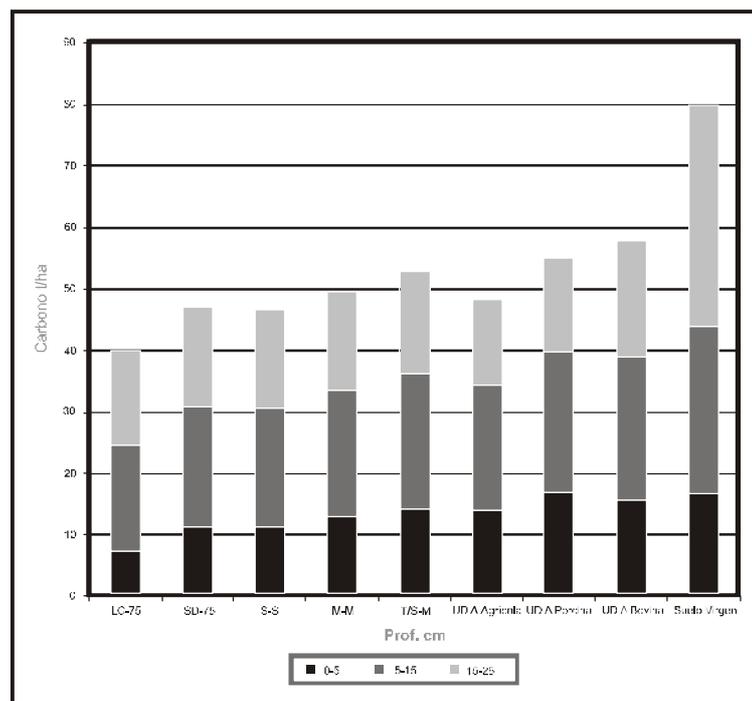


Figura 1.15. Contenido total de Carbono en un suelo Argiudol típico, en distintos manejos de rotaciones y labranzas durante el período de 20 a 30 años según ensayos, y el de un suelo virgen sin uso agropecuario.

## VIII. CONCLUSIONES SOBRE CARBONO Y NITRÓGENO TOTAL

Si bien este trabajo no está finalizado, se pueden extraer algunas conclusiones preliminares sobre el efecto de la SD, las rotaciones de cultivos y la fertilización sobre el contenido de carbono y nitrógeno total en el suelo en el largo plazo:

- La SD tiene un efecto decisivo para aumentar y mantener el nivel de carbono y nitrógeno en el suelo bajo distintas rotaciones de cultivos, aun en el monocultivo de soja. Su mayor efecto se observa en los primeros centímetros de profundidad (0-5).
- Las rotaciones agrícolas que incluyen gramíneas y leguminosas (T/S-M; M-S; So-S) aparecen como más eficientes para incorporar carbono y nitrógeno comparada con las de alta proporción de leguminosas (T/S-S; G-S y S-S).
- Los sistemas agrícolas-ganaderos (bovinos o porcinos) permiten alcanzar niveles superiores de carbono y nitrógeno total comparado con cualquiera de las rotaciones agrícolas evaluadas.
- Con las técnicas de manejo utilizadas en estos ensayos los sistemas agrícolas permanentes con SD y dosis media de fertilización parecen tener un punto de equilibrio de aproximadamente 50t/ha de carbono total de 0-25cm de profundidad. El volumen de residuos de distintas rotaciones parece tener poca influencia para superar este valor en el largo plazo.
- Las diferencias de los sistemas agrícolas con el suelo virgen, se dan principalmente en las profundidades de 5-15 y 15-25cm. El desarrollo radicular de la vegetación natural tendría una importancia mucho mayor que el volumen de los residuos superficiales para explicar esas diferencias.

## IX. CONCLUSIONES GENERALES

Considerando los rendimientos y los contenidos de carbono y nitrógeno totales de los ensayos evaluados pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- La siembra directa permitiría elevar el nivel de carbono y nitrógeno en todos los sistemas de producción y mantener un punto de equilibrio más elevado que la labranza convencional, especialmente en los primeros 5cm de suelo.
- Las rotaciones de trigo/soja-maíz; maíz-soja; sorgo-soja y las combinaciones entre ellas serían las más indicadas para un alto nivel de producción y un mayor nivel de carbono en el suelo.
- Los sistemas agrícolas permanentes con SD difundidos en la región pueden alcanzar un aceptable grado de sustentabilidad, utilizando rotaciones y niveles adecuados de fertilización. El contenido de carbono se estabilizaría en aproximadamente el 60% de los suelos vírgenes.
- Un nivel superior de carbono en el suelo y de sustentabilidad puede lograrse incorporando pasturas perennes en base a alfalfa en las rotaciones (sistemas mixtos agrícola bovino, agrícola porcino).

# EFECTO DE LAS ROTACIONES Y EL LABOREO EN LA CALIDAD DEL SUELO

*por Alejandro Morón*  
**INIA La Estanzuela –Uruguay**

## I. INTRODUCCIÓN

Internacionalmente existe un interés creciente en los problemas ambientales, dentro de los cuales se destaca el recurso suelo (Doran & Parkin, 1994; Bezdicek, *et al.* 1996; Cameron *et al.* 1998; Doran *et al.*, 1998). Recientemente Sánchez (2002), en el plenario del XVII Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo realizado en Tailandia, sostenía que el análisis político necesita información o mapas que muestren cambios en propiedades importantes del suelo con el tiempo a escalas espaciales que ellos puedan utilizar. Priorizar parámetros, relacionarlos con las funciones del suelo y fijar los valores críticos o “luces de peligro” en el cual se indique que suelo y que funciones del ecosistema están siendo dañadas, es el excitante desafío de este nuevo campo que esta corrientemente siendo explorado. Los conceptos de calidad del suelo, salud del suelo y sustentabilidad, han sido objeto de diversos trabajos en los cuales las definiciones de dichos términos son relativamente similares. Doran & Parkin (1994) definieron la calidad del suelo como: la capacidad del suelo de funcionar dentro de un ecosistema, sosteniendo la productividad biológica; manteniendo la calidad del ambiente y promoviendo la salud animal y vegetal.

La cuantificación de la calidad del suelo con indicadores físicos, químicos o biológicos son discutidos en detalle por Doran y Jones (1996) y De Kimpe y Prasittiketh (2002). En términos generales el o los indicadores a utilizar deben tener sensibilidad para detectar cambios, capacidad de integrar

objetivos, facilidad de medir e interpretar y ser accesible a muchos usuarios. En general, los indicadores más utilizados están asociados a la materia orgánica del suelo. El conocimiento de la evolución de la calidad del suelo con determinadas prácticas agrícolas, es necesario para planificar un uso y manejo sustentable del recurso natural suelo. Productores, asesores agronómicos, organismos crediticios, instituciones certificadoras y políticos son potenciales usuarios de indicadores que permitan monitorear los cambios en el recurso natural suelo.

El desarrollo de la agricultura convencional, generalmente, ha conducido a un deterioro de la calidad del suelo y por ende de su capacidad productiva, dado fundamentalmente por procesos erosivos y balances negativos de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P). La reciente incorporación de la Siembra Directa (SD) con el no movimiento del suelo y la colocación de rastrojos en superficie, así como la intensificación agrícola con la exclusión de las pasturas en la rotación y el predominio de la soja plantea nuevas interrogantes sobre la evolución del recurso natural suelo de nuestra región. El objetivo del presente trabajo, es analizar algunos resultados experimentales relevantes obtenidos por INIA La Estanzuela en Uruguay y Argentina, sobre el impacto de la rotación y el laboreo en la calidad del suelo. Parte de estos resultados se obtuvieron como producto de trabajos conjuntos con INTA Marcos Juárez y la Unidad Integrada Balcarce.

## II. LA ROTACIÓN CULTIVO-PASTURA EN INIA LA ESTANZUELA

La Estación Experimental INIA La Estanzuela, posee un experimento de Rotaciones de Cultivos y Pasturas que fue instalado en 1963, o sea que actualmente tiene más de 40 años, que ha producido información valiosa sobre la dinámica de C, N, P y distintos aspectos de la fertilidad del suelo. Esto fue reportado por: Díaz *et al.* (1980); Díaz Rosello (1992a); Díaz Rosello (1992b); Morón & Kiehl (1992); García & Morón (1993); Baethgen *et al.* (1994); Morón & Baethgen (1994); Morón & Baethgen (1995); Morón (1995); Morón, (1996); Carriquiry *et al.* (1999); Morón (2000); Morón & Sawchik (2002).

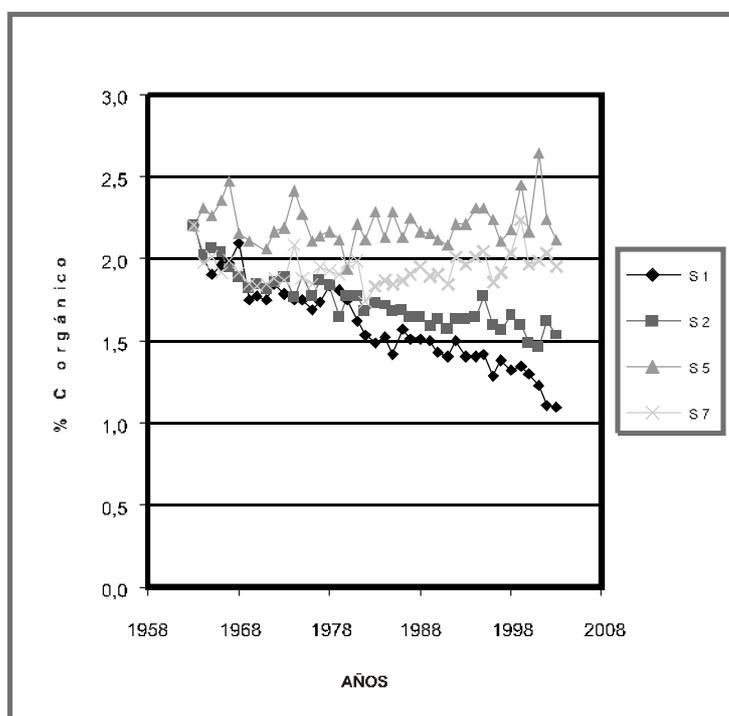
Este experimento fue pensado y diseñado por el Ing. L. Castro, para contestar interrogantes que surgían de la realidad productiva de la década de 1960. No obstante, tiene marcados contrastes entre algunos tratamientos, que aportan elementos que trascienden notoriamente las realidades que le dieron origen.

El suelo dominante en el área de estudio es un Brunosol Eutrítico típico (Argiudol típico), de la unidad Ecilda Paullier-Las Brujas, con textura franco-arcillo-limosa y con una pendiente suave a moderada de aproximadamente 2 a 4 %. Este sitio tenía

previamente a la instalación del ensayo 50-60 años de agricultura convencional (no permanente). El experimento tiene 7 tratamientos (sistemas de rotación de cultivos y pasturas), en bloques al azar con tres repeticiones. Todos los cultivos y pasturas fueron realizados con laboreo convencional en parcelas de 25m por 200m. Los sistemas considerados en este trabajo son: Sistema 1, agricultura continua (Cebada-Girasol 2ª-Trigo-Sorgo) sin fertilizantes (S1); Sistema 2, agricultura continua (secuencia idéntica a S1) con fertilizantes N y P (S2); Sistema 5, agricultura en rotación con pasturas de leguminosas y gramínea (S5) con 50 % del tiempo bajo cultivos y 50 % del tiempo con pasturas; y por último, el Sistema 7, de agricultura en rotación con trébol rojo (S7) con 33% del tiempo con pasturas y el resto con cultivos. Las pasturas del S5 y el S7 no tienen pastoreo animal, después de evaluadas son cortadas y devueltas al suelo. Todas las muestras de suelo fueron tomadas a aproximadamente 15-20cm de profundidad, excepto cuando se indique lo contrario.

### CARBONO ORGÁNICO

La **Figura 1.16** presenta la evolución durante 40 años del contenido de C orgánico del suelo para cuatro rotaciones. Actualmente, se observan dife-



**Figura 1.16.** Evolución del contenido de C orgánico del suelo en diferentes rotaciones en INIA La Estanzuela (1963-2003).

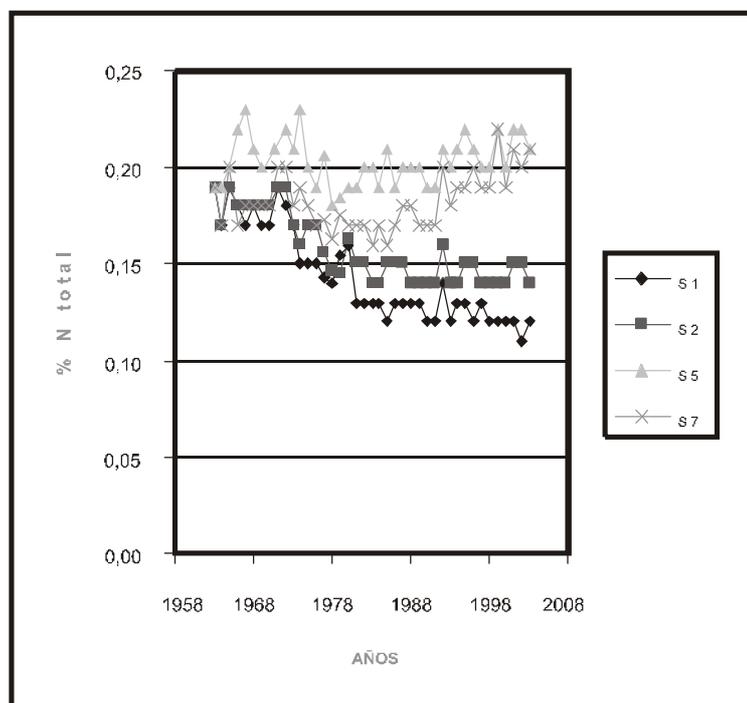
Fuente: Morón, 2003.

rencias de más del 1% en C orgánico entre los tratamientos extremos (S1 y S5). En una hectárea de suelo a 20cm de profundidad, una diferencia de 1% puede significar entre 20.000 y 25.000kg de C. El balance fuertemente negativo del S1 se explica básicamente por: i) la erosión; ii) un bajo ingreso de residuos vegetales; y iii) un marcado déficit de N. La determinación del C orgánico del suelo fue realizada con dicromato de potasio y calor externo.

Resultados experimentales muestran, que los suelos de las rotaciones de los S5 y S7 mineralizan más carbono orgánico que los suelos de los S1 y S2, tanto en invierno como en primavera (Morón & Baethgen, 1994), teniendo un alto impacto la temperatura (Morón, 1995). Las rotaciones que incluyen pasturas, en general mineralizan más C debido a que tienen mayor contenido de C orgánico y a su vez, en la distribución interna del C en distintas formas presentan mayor cantidad absoluta y relativa de C en las fracciones orgánicas menos descompuestas y más susceptibles de ser mineralizadas (Morón & Sawchik, 2002).

## NITRÓGENO

El valor del N total, básicamente N orgánico, en el suelo es el resultado de un balance de entradas, fundamentalmente, fertilización y fijación biológica de nitrógeno (FBN) y salidas como la erosión de la materia orgánica, el lavado de nitratos, la volatilización de amonio, la denitrificación y el retiro de productos vegetales y/o animales. La **figura 1.17** presenta la evolución del contenido de N total, durante 40 años de las 4 rotaciones analizadas en este artículo. Las tendencias son semejantes a las observadas en el C presentadas en la **figura 1.16**. De igual forma podemos estimar, después de 40 años, que las diferencias acumuladas en una hectárea a 20cm de profundidad son entre 1800 y 2250kg N total entre el S5 y el S1. A partir de la evolución y los cambios cíclicos en el contenido de N total, (Díaz, 1992a) estimó para el S 5: a) las entradas de N vía FBN de las leguminosas en el orden de los 500kg N/ha por ciclo de pasturas; y b) una entrada de 1 kg N vía FBN por cada 25 kg de materia seca de leguminosa producido en la parte aérea.



**Figura 1.17.** Evolución del contenido de N total del suelo en diferentes rotaciones en INIA La Estanzuela (1963-2003).

Fuente: Morón, 2003.

El N total fue determinado mediante digestión sulfúrica, destilación con micro Kjeldahl y titulación.

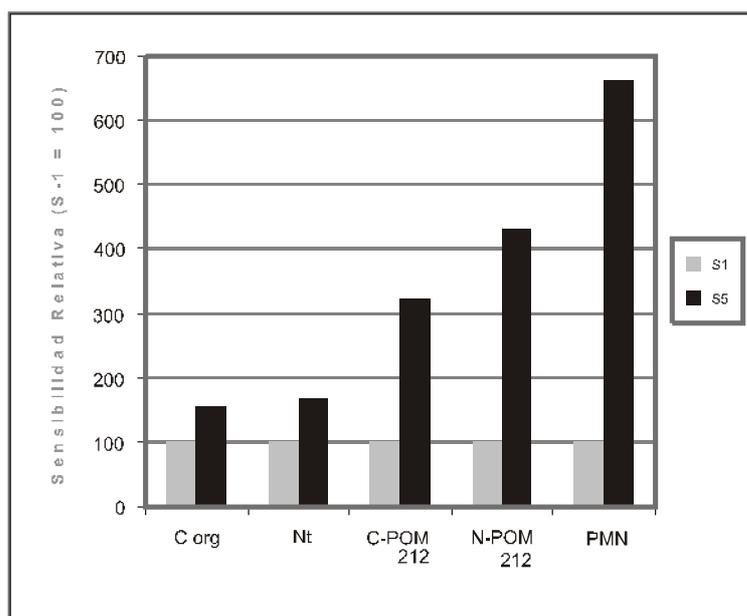
La capacidad de mineralización de nitrógeno de los suelos de las rotaciones, medidos por incubación aeróbica (Morón, 1995) y anaeróbica (Morón & Sawchik, 2002), es notoriamente superior en las rotaciones que incluyen pasturas, teniendo un fuerte impacto la temperatura (Morón, 1995). Los mayores valores de mineralización de los suelos de las rotaciones con pasturas, son explicados en parte por los mayores valores de N total presente, así como por la mayor cantidad de N presente en fracciones del N orgánico fácilmente mineralizables (Morón & Sawchik, 2002).

### INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

En el Experimento de Rotaciones de INIA La Estanzuela, se reportaron avances en la selección de nuevos indicadores que directa e indirectamente están relacionados con la materia orgánica del suelo y sus dos componentes principales C y N (Morón

& Sawchik, 2002). Los nuevos indicadores evaluados fueron: a) potencial de mineralización de nitrógeno (PMN) por incubación anaeróbica; b) C-POM 212: carbono en la materia orgánica particulada (POM) entre 212 y 2000 micras; c) C-POM 53: carbono en la POM entre 53 y 212 micras; d) N-POM 212: nitrógeno en la POM entre 212 y 2000 micras; y e) N-POM 53: nitrógeno en la POM entre 53 y 212 micras. Dentro de los nuevos indicadores evaluados, se destacaron por su mayor sensibilidad frente a indicadores tradicionales (C orgánico, N total) para detectar los diferentes efectos del uso y manejo del suelo, los siguientes: PMN, C-POM 212 y N-POM 212. Esto fue detectado especialmente para la profundidad 0-7.5cm (**Figura 1.18**).

También fueron logrados buenos resultados, pero no de mayor sensibilidad que los mencionados anteriormente, con la determinación del grupo de enzimas deshidrogenasas y del HWC (*hot water extractable carbon*) para las profundidades 0-7.5 cm en las cuatro rotaciones mencionadas anteriormente (Morón, no publicado). Las deshidrogenasas fueron determinadas según Dick *et al.*, 1996 y el HWC según Ghani, A. (com. per.).



**Figura 1.18.** Sensibilidad relativa de diferentes indicadores de uso y manejo de suelo en dos Rotaciones en INIA La Estanzuela a 0-7.5cm. Evaluación realizada en 1999. Fuente: Morón y Sawchik, 2002.

### III. LA SIEMBRA DIRECTA Y EL LABOREO CONVENCIONAL EN INTA MARCOS JUÁREZ

Según Morón *et al.*, 2004, en este trabajo se seleccionaron experimentos de secuencias de cultivos y labranzas de larga duración localizados en la Esta-

ción Experimental Agropecuaria INTA Marcos Juárez, sobre un suelo clasificado como Argiudol típico de la serie Marcos Juárez, de textura franco-

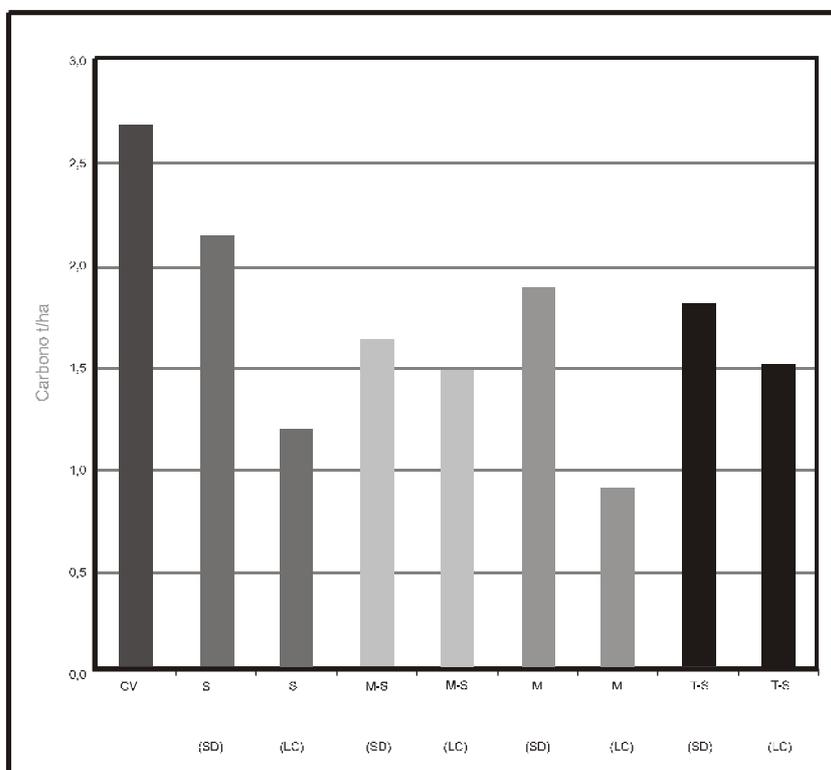
limosa con topografías planas y semi-planas. Estos ensayos se instalaron sobre suelos que tenían previamente una larga historia de agricultura con labranza convencional. Los experimentos y tratamientos seleccionados para este trabajo fueron: 1) Soja continua (S-S) establecido en 1975; 2) Maíz – Soja (M-S) establecido en 1988; 3) Maíz continuo (M-M) establecido en 1975; y 4) Trigo-Soja (T-S) establecido en 1974. Los antecedentes e información adicional sobre estos experimentos están reportados previamente (Marelli y Arce, 1995; Gudelj y Masiero, 2001; Marelli *et al.*, 2001). En todos los ensayos mencionados existen tratamientos de laboreo convencional (LC) y Siembra Directa (SD) de los cuales fueron seleccionados dos, que representaban claramente ambas formas de preparación del suelo. A los efectos de las comparaciones de tratamientos, se seleccionó además un suelo de campo virgen (CV) de la misma serie de suelos localizado en la Estación Experimental. Los experimentos tienen un diseño de parcelas divididas con un mínimo de 3 repeticiones según el caso. En todos los casos, los tratamientos seleccionados para el muestreo correspondieron a las sub-parcelas fertilizadas. En noviembre del 2000 se tomaron muestras de suelo a dos profundidades: 0-7.5 y 7.5-15 cm.

### El Carbono orgánico y el Nitrógeno total

En las **Figuras 1.19** y **1.20** se observan los contenidos de C orgánico en las dos profundidades de muestreo para los diversos ensayos. Debe señalarse que estadísticamente solo son validas las comparaciones dentro de un mismo ensayo. Los tratamientos de SD, presentaron los mayores contenidos de C orgánico en superficie en todos los experimentos. A pesar de existir una leve tendencia a favor de la LC en la profundidad de 7.5-15 cm, las diferencias registradas en los primeros centímetros son de tal magnitud que globalmente en la profundidad de 0-15 cm los mayores contenidos de C orgánico se observan en SD.

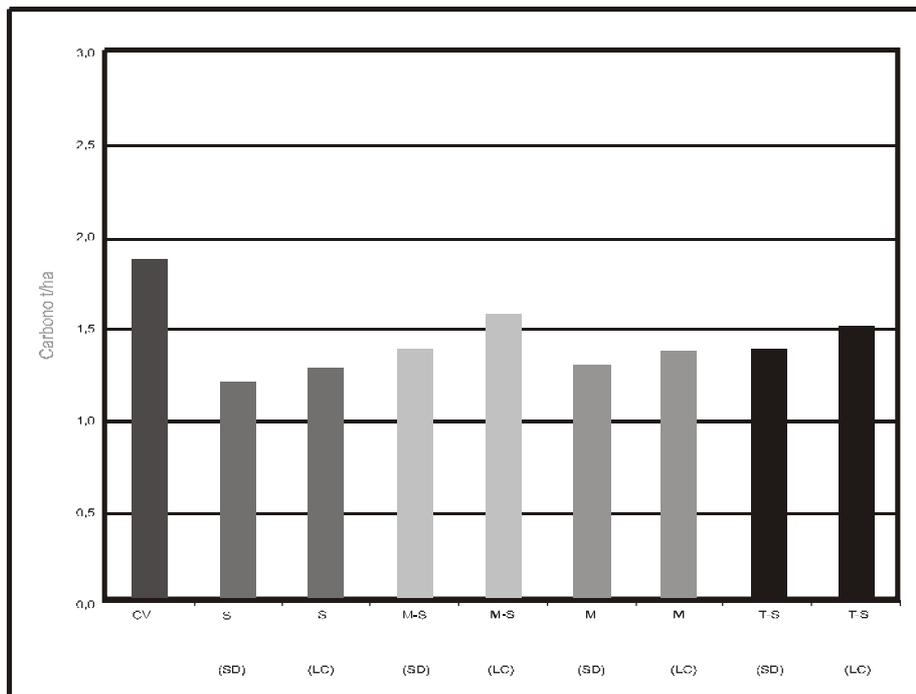
No se detecta ninguna situación de agricultura continua realizada bajo LC o SD con niveles de C orgánico iguales o mayores que los encontrados en el suelo indisturbado tomado como referencia. En suma, la SD durante un período de 25 años en un suelo degradado por la historia previa de agricultura convencional, no logra alcanzar los contenidos de C orgánico originales del suelo.

Para los valores de N total (información no presentada) las tendencias generales son similares a las observadas para el C orgánico anteriormente mencionado.



**Figura 1.19.** Contenido de C orgánico en 0 – 7.5 cm en diferentes ensayos de laboreo para cultivos en experimentos de INTA Marcos Juárez. S= Soja, M-S = Maíz – Soja, M = Maíz, T-S = Trigo – Soja, SD = Siembra Directa, LC = Labranza Convencional, CV = campo virgen.

Fuente: Morón *et al.*, 2004

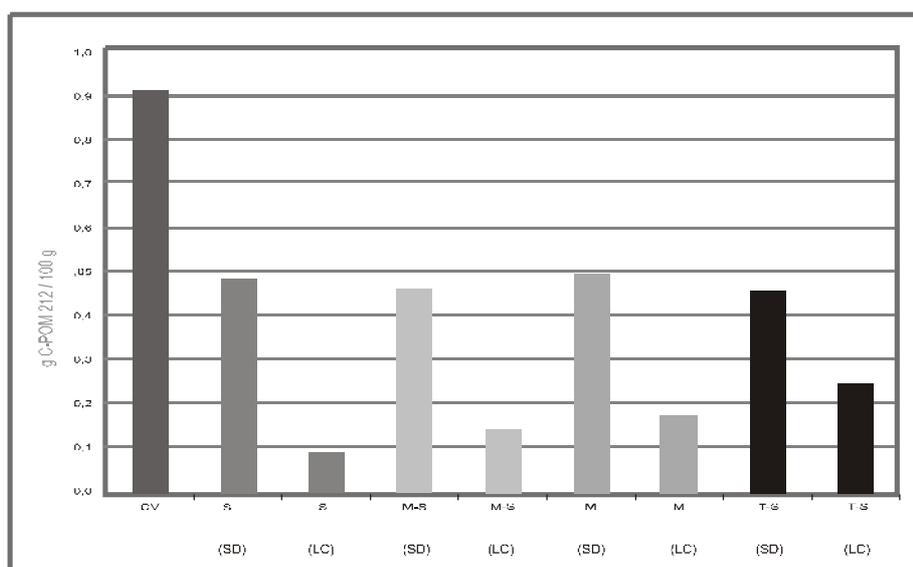


**Figura 1.20.** Contenido de C orgánico en 7.5 - 15 cm en diferentes ensayos de laboreo para cultivos en experimentos de INTA Marcos Juárez. S= Soja, M-S = Maíz – Soja, M = Maíz, T-S = Trigo – Soja, SD = Siembra Directa, LC = Labranza Convencional, CV= campo virgen.  
Fuente: Morón *et al.*, 2004

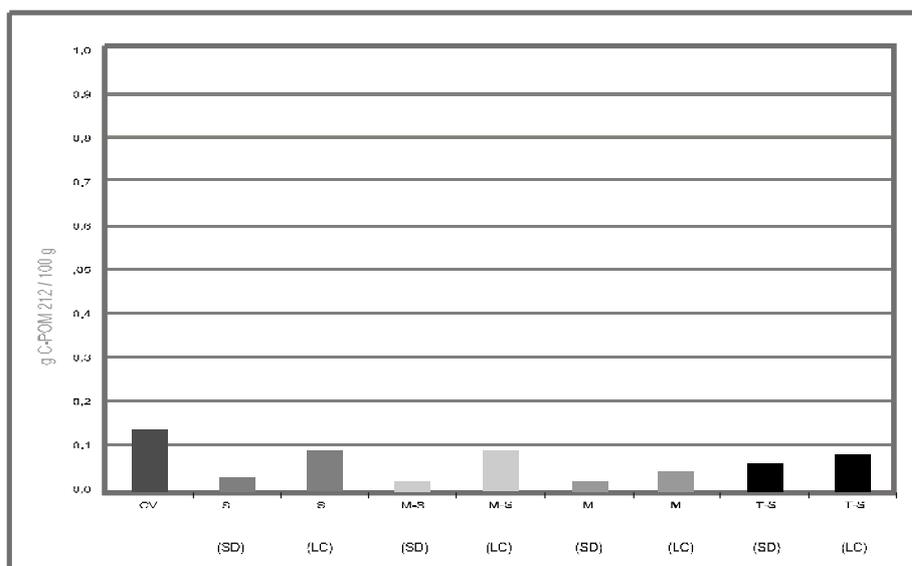
## INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

Los tratamientos bajo SD presentaron una mayor estratificación que los de LC para todos los indicadores evaluados, pero ésta fue más marcada en los indicadores C-POM, N-POM y PMN. Prácticamente en todos los experimentos, las fracciones C-POM 212 y N-POM 212 y el PMN presentaron diferencias significativas a favor de la SD en la profundidad 0-7.5cm. Esto se ejemplifica

en la **Figuras 1.21 y 1.22** para el indicador C-POM 212. Pero en ningún caso se alcanzaron valores similares a los del suelo virgen. Estos indicadores además presentaron mayores diferencias relativas a favor de la SD comparados con el C orgánico y el N total. En la **Figura 1.23** se observa la sensibilidad relativa de los indicadores en el experimento de Soja continua.

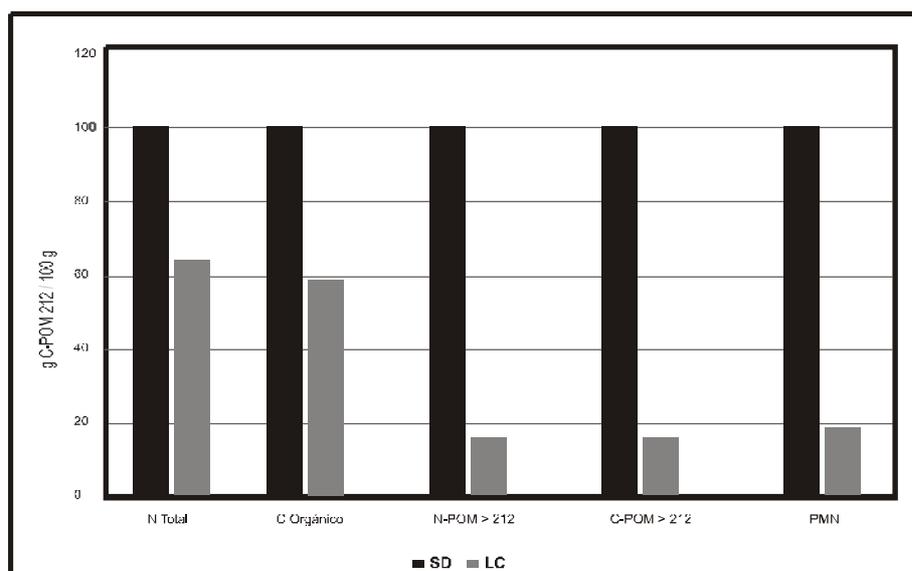


**Figura 1.21.** Contenido de C-POM 212 en 0-7.5cm en diferentes ensayos de laboreo para cultivos en experimentos de INTA Marcos Juárez. S= Soja, M-S = Maíz – Soja, M = Maíz, T-S = Trigo – Soja, SD = Siembra Directa, LC = Labranza Convencional, CV= campo virgen.  
Fuente: Morón *et al.*, 2004.



**Figura 1.22.** Contenido de C-POM 212 en 7.5-15cm en diferentes ensayos de laboreo para cultivos en experimentos de INTA Marcos Juárez. S= Soja, M-S = Maíz – Soja, M = Maíz, T-S = Trigo-Soja, SD = Siembra Directa, LC = Labranza Convencional, CV= Campo Virgen.

Fuente: Morón *et al.*, 2004.



**Figura 1.23.** Valores relativos para 5 indicadores en el experimento de Soja continua del INTA Marcos Juárez. SD = Siembra Directa, LC = Labranza Convencional.

Fuente: Morón *et al.*, 2004.

#### IV. LA SIEMBRA DIRECTA Y EL LABOREO CONVENCIONAL EN INTA BALCARCE

Fabrizzi *et al.*, 2003, reportan el efecto del tipo de labranza (LC y SD) y de la fertilización nitrogenada (0 y 120 kg N-urea/ha), en la calidad del suelo para un experimento con una rotación de cultivos con cuatro repeticiones. A partir de 1992 la secuencia de cultivos fue: trigo-soja-trigo-maíz-maíz-girasol-maíz. El ensayo fue instalado en 1992 sobre un suelo

clasificado como Molisol (*Petrocalcic, Paleudoll*), localizado en el INTA Balcarce con una pendiente del 0.5%. Este suelo tenía un cierto grado de degradación por una historia previa de 25 años de agricultura convencional al momento de la toma de muestras en 1999. Las muestras de suelo fueron tomadas a dos profundidades: 0-7.5 y 7.5-15cm. Como

suelo de referencia se tomo el mismo tipo de suelo, también localizado en INTA Balcarce, pero que nunca había sido cultivado (indisturbado) y que hacia mas de 30 años que estaba con pasturas.

#### CARBONO ORGÁNICO Y NITRÓGENO TOTAL

Después de 8 años de SD, el contenido de C orgánico y N total fueron mayores en SD que en LC a 0-7.5cm. Estas diferencias fueron mayores para el tra-

tamiento de 120 kg N/ha (**Cuadro 1.22**). En cambio, a 7.5-15cm no fueron detectadas diferencias significativas entre tratamientos para el contenido de C orgánico y el N total (**Cuadro 1.22**).

La SD afectó la distribución vertical del C orgánico y el N total, a favor de los primeros centímetros del suelo.

**Cuadro 1.22.** Contenido de C orgánico y N total en experimento de INTA Balcarce

TRATAMIENTO	% Orgánico	% N total	% Orgánico	% N total
	0 - 7,5 cm		7,5 - 15 cm	
LC 0-N	2.38	0.210	2.38	0.211
LC 120-N	2.35	0.212	2.39	0.216
SD 0-N	2.67	0.235	2.35	0.214
SD 120-N	2.89	0.248	2.50	0.214
Referencia	4.15	0.376	3.05	0.282

Considerando todo el suelo (0-15cm) la cantidad de C orgánico y N total fueron significativamente mayores en SD que en el LC (Fabrizzi *et al.*, 2003). Por otra parte, el C orgánico y el N total bajo LC y SD representaron del 57 al 67 % y 75 a 80 % de los valores observados en la pastura de referencia a 0-7.5 y 7.5-15cm de profundidad respectivamente. Diversos estudios han demostrado, que la SD resulta en mayor agregación y mayor retención de C orgánico que el LC (Paustian *et al.*, 1997; Six *et al.*, 2000). Esto puede ser atribuido a una disminución en la velocidad de descomposición de los rastrojos (Morón, 2001) y de la materia orgánica estable producto de un menor disturbio bajo SD (Paustian *et al.*, 2000).

#### INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

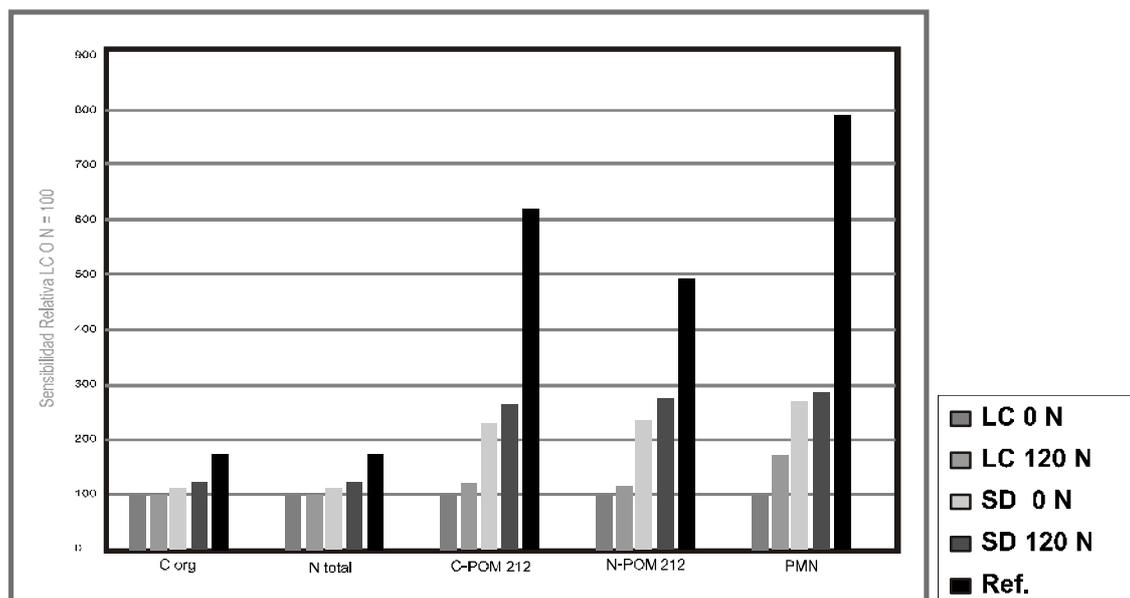
En el **Cuadro 1.23** se presentan los valores obtenidos para C-POM 212, N-POM 212 y PMN para ambas profundidades. En la profundidad 0-7.5 los valores de C-POM 212, N-POM 212 y PMN son significativamente más altos en SD que en LC. En SD y en el suelo de referencia se presenta una fuerte estratificación a favor de los primeros centímetros del suelo. En la profundidad 7.5-15cm se invierten estas tendencias a favor del laboreo convencional pero en el total del perfil (0-15cm) el resultado es significativamente favorable a la siembra directa (Fabrizzi *et al.*, 2003).

**Cuadro 1.23.** Valores de C-POM 212, N-POM 212 y PMN en ambas profundidades. C y N en g/kg y PMN en mg/kg

TRATAMIENTO	C-POM 212	N-POM 212	PMN	C-POM 212	N-POM 212	PMN
	0 - 7,5 cm			7,5 - 15 cm		
LC 0-N	0.636	0.042	21.6	0.835	0.041	25.8
LC 120-N	0.760	0.047	27.1	1.037	0.053	29.8
SD 0-N	1.493	0.092	61.2	0.536	0.031	20.2
SD 120-N	1.661	0.110	61.7	0.536	0.036	17.9
Referencia	3.920	0.210	172.0	0.98	0.050	58.0

En la **Figura 1.24** se observa la mayor sensibilidad relativa de C-POM-212, N-POM-212 y el PMN frente a C orgánico y N total a 0-7.5cm para detectar

los cambios introducidos por los diferentes tratamientos y a su vez su relación con el suelo de referencia.



**Figura 1.24.** Sensibilidad relativa de diferentes indicadores a la profundidad 0-7.5cm en experimento de tipo de laboreo y fertilización nitrogenada en una rotación agrícola en INTA Balcarce

#### LA SECUENCIA DE CULTIVOS Y SU PRODUCTIVIDAD EN RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL SUELO

Para el desarrollo de esta temática debemos recurrir necesariamente a información generada por otros autores. El balance anual de carbono es la diferencia entre las entradas de C (rastrajos, raíces, exudados radiculares) menos las salidas de C (erosión, mineralización). Diversos autores presentan información sobre la relación lineal que existe entre la cantidad de residuos que entran al suelo y los niveles de materia orgánica del suelo (Rasmussen & Collins, 1991; Paustian *et al.*, 1995; Langdale *et*

*al.*, citado por Reicovsky *et al.* (1995); Paustian *et al.*, 2000; Studdert y Echevarría, 2000.

Cordone *et al.*, citada por Andriulo y Cordone, 1998. realizaron durante los años 1990/91 y 1991/92 una evaluación post-cosecha en 118 campos de productores en el norte de Buenos Aires y cuantificaron la cantidad y calidad de la materia seca aérea de los principales cultivos de la zona (**Cuadro 1.24**).

**Cuadro 1.24.** Características de los rastrojos (parte aérea) de los principales cultivos de la zona norte de Buenos Aires (1990-92)

Cultivo	kg materia seca aérea rastrojos/ha	Indice Cosecha	KgC/ha	C/N
Maíz	9.2	0.43	3714	109:1
Girasol	6.9	0.24	2750	49:1
Trigo	5.3	0.37	2122	101:1
Soja 1 <sup>a</sup>	5.2	0.34	1802	48:1
Soja 2 <sup>a</sup>	3.3	0.38		

Indice cosecha = kg grano / kg producción aérea total  
C/N = relación carbono / nitrógeno

Existe una diferencia cuantitativa importante entre los cultivos. Maíz sería el cultivo con mayor aporte y la soja se presenta en la situación inversa con el mínimo. Paralelamente la relación C/N más alta del rastrojo de maíz determinaría una descomposición más lenta y sería más favorable para la formación de materia orgánica estabilizada en el suelo. La soja estaría en la situación inversa.

Es claro que todas las prácticas agronómicas que determinan aumentos de rendimiento en grano, generalmente también son acompañadas por un aumento en la cantidad de rastrojo.

Existen diversos autores que reportan ventajas en los valores de C orgánico en el suelo por incluir maíz o sorgo en la rotación agrícola en sustitución de la soja (Havlin *et al.*, 1990; Studdert & Echeverría, 2000; Wright & Hons, 2004).

## V. CONSIDERACIONES FINALES

- La información presentada es clara respecto al impacto del tipo de laboreo y la rotación en la calidad del recurso suelo. La SD es una tecnología que permite lograr mejores niveles de C orgánico total así como de sus fracciones C-POM 212 y N-POM 212 especialmente en los primeros centímetros del suelo. Idéntica consideración es válida para la capacidad de aporte de N vía mineralización determinada por PMN.
- Es definido el efecto positivo de la inclusión de pasturas de gramíneas perennes y leguminosas en rotación con los cultivos en el balance y dinámica del C y el N del suelo. Dentro de las secuencias de rotaciones de cultivos sin incluir pasturas, la soja presenta efectos negativos que pueden ser compensados por el planteamiento de secuencias en las cuales parte de la soja sea sustituida por maíz o sorgo.
- Los nuevos indicadores C-POM 212, N-POM 212 y PMN son más sensibles que el C orgánico y el N total para detectar cambios especialmente en los primeros centímetros y pueden considerarse herramientas útiles para el diagnóstico y monitoreo de la calidad del recurso natural suelo.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIULO, A. y CORDONE, A. 1998. Impacto de Labranzas y Rotaciones sobre la Materia Orgánica de Suelos de la Región Pampeana Húmeda. *In*: Panigatti, J.L.; Marelli, H.; Buschiazzo, D.; Gil, R.G. editores. Siembra Directa. Capítulo 5, p. 65-96
- BAETHGEN, W.E.; MORÓN, A. and DÍAZ ROSELLÓ, R.M. 1994. Modelling long-term soil organic carbon changes in six cropping systems of SW Uruguay. 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Acapulco, México. V9: 300-302.
- BEZDICEK, D.C.; PAPENDICK, R.I. and LAL, R. 1996. Introduction: Importance of Soil Quality to Health and Sustainable Land Management. *In*: Doran, J.W. & Jones, A.J., (eds.) Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication, Number 49, p 1-8.
- CAMERON, K.; BEARE, M.; MCLAREN, R. and DI, H. 1998. Selecting physical, chemical, and biological indicators of soil quality for degraded or polluted soils. *In*: CD XVI World Congress of Soil Science, Symposium 37, Montpellier, France.
- CARRIQUIRY, M.; MORÓN, A. y SAWCHIK, J. 1999. Potencial de Mineralización de Nitrógeno de Suelos del Area Agrícola del Uruguay. *In*: Comisión V Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas. 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelos. Chile, Nov. 1999. CD-ROOM.
- DE KIMPE, C.R. and PRASITTIKETH, J. 2002. Soil indicators for sustainable land use. *In*: Symposium nº 32 Paper 2285. 17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Thailand.
- DÍAZ ROSSELLO, R.M. 1992 a. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. *In*: Morón, A. & Baethgen, W. Eds. Simposio Sustentabilidad de las rotaciones cultivo-pasturas en el Cono Sur. Revista INIA de Investigaciones Agronómicas. 1: 103-110.
- DÍAZ ROSSELLO, R.M. 1992 b. Evolución del nitrógeno total en rotaciones con pasturas. *In*: Morón, A. & Baethgen, W. Eds. Simposio Sustentabilidad de las rotaciones cultivo-pasturas en el Cono Sur. Revista INIA de Investigaciones Agronómicas. 1: 27-35.
- DÍAZ, R.M.; GARCÍA, F. y BOZZANO, A. 1980. Dinámica de la disponibilidad de nitrógeno y las propiedades físicas del suelo en rotaciones de pasturas y cultivos. Miscelánea 24. Estación Experimental La Estanzuela. Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" p. 1-25.

- DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P. and TURCO, R.F. 1996. Soil Enzyme Activities and Biodiversity Measurements as Integrative Microbiological Indicators. *In*: Doran, J.W.; Jones, A.J. (Editors). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication Number 49, Chapter 15. p. 247-271.
- DORAN, J.W. and JONES, A.J. (Editors) 1996. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication Number 49, 410 p.
- DORAN, J.; LIEBIG, M. and SANTANA, D.P. 1998. Soil Health and Global Sustainability. *In*: CD XVI World Congress of Soil Science, Symposium 26, registration 1923, Montpellier, France.
- DORAN, J.W. and PARKIN, T.B. 1994. Defining an assessing soil quality. *In*: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdick, D.F.; Stewart, B.A. Editors. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication Number 35, Chapter 1. p. 3-21
- FABRIZZI, K.; MORÓN, A. and GARCÍA, F. 2003. Soil Carbon and Nitrogen in Degraded vs. Non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 1831-1841.
- GARCÍA, A. and MORÓN, A. 1993. Estudios on soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in three crop rotation systems. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress (New Zealand)*. p. 1443-1444.
- GUDELJ, O. y MASIERO, B. 2001. Efecto del manejo del suelo sobre su estabilidad estructural. Informe Técnico No. 128 E.E.A. Marcos Juárez. p. 31-43.
- HAVLIN, J.L.; KISSEL, D.E.; MADDUX, L.D.; CLASSEN, M.M. and LONG, J.H. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 54:448-452.
- MARELLI, H.J. y ARCE, J. 1995. La siembra directa en la secuencia trigo/soja. *In*: Aportes en siembra directa. INTA C.R. Córdoba – E.E.A. Marcos Juárez. p. 23-40.
- MARELLI, H.J.; ARCE, J. y MASIERO, B. 2001. 25 años del doble cultivo trigo/soja bajo siembra directa. Informe Técnico N°. 128 E.E.A. Marcos Juárez. p. 3-15.
- MORÓN, A. 1995. Carbon and nitrogen mineralization in four crop-pasture rotation. *In*: Ljunggren, H.; Faveluckes, G.; Dankert, M.A., organizers. SAREC Conference Swedish-Argentinian-Uruguayan Cooperation for Science and Technology 1986-1995. Buenos Aires. 5-7 Diciembre 1995.
- MORÓN, A. 1996. Retención de fósforo por el suelo en un molisol bajo tres sistemas de rotación con diferentes fertilizaciones. 1996. *In*: XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas p. 133-134. Santa Rosa, La Pampa. Argentina.
- MORÓN, A. 2000. Efecto de diferentes rotaciones en el nivel de cadmio total y disponible en el suelo. FERTBIO 2000 XXV Reunión Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Santa Maria-RS- Octubre 2000. CD-ROM.
- MORÓN, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. 2001. *In*: Siembra Directa en el Cono Sur. Prociur. Díaz Rossello, R. Coordinador. p.387-405.
- MORÓN, A. 2003. Principales contribuciones del Experimento de Rotaciones de Cultivos-Pasturas de INIA La Estanzuela en el Area de Fertilidad de Suelos (1963-2003). *In*: Morón, A.; Díaz, R. (editores) Simposio 40 Años de Rotaciones Agrícolas-Ganaderas. INIA La Estanzuela Serie Técnica 134:1-7.
- MORÓN, A. and BAETHGEN, W.E. 1994. Sol organic matter mineralization in four cropping systems. 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Acapulco, México. V9: 298-299
- MORÓN, A. and BAETHGEN, W.E. 1995. Decomposition and nutrient release from crop and pasture residues in contrasting agricultural production systems. *In*: Cadisch, G. & Killer, K., organizers. *Transactions Driven by Nature. Plant litter quality and decomposition*. Wye College, University of London. September 17-20 1995.
- MORÓN, A. y KIEHL, J.C. 1992. Dinámica del fósforo en tres sistemas agrícolas en el suroeste de Uruguay. *In*: Morón, A. & Baethgen, W. Eds. Simposio Sustentabilidad de las rotaciones cultivo-pasturas en el Cono Sur. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas*. 1.: 61-84
- MORÓN, A.; MARELLI, H.; SAWCHIK, J.; GUDELJ, V.; GALARZA, C. y ARCE, J. 2004. Indicadores de la calidad del suelo en experimentos de rotaciones de cultivos en Córdoba Argentina. (en prensa, XIX Congreso Argentina de la Ciencia del Suelo, Paraná)
- MORÓN, A. and SAWCHIK, J. 2002. Soil quality indicators in a long-term crop-pasture rotation experiment in Uruguay. *In*: Symposium n° 32 Paper 1327. 17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Thailand. CD.

- PAUSTIAN, K.; COLLINS, H.P. and PAUL, E.A. 1997. Management controls on soil carbon. *In*: Paul, E.A. *et al* editors Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. CRC Press Boca Raton, p. 15-49.
- PAUSTIAN, K.; ROBERTSON, G.P. and ELLIOTT, E. 1995. Management impacts on carbon storage and gas fluxes (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) in mid-latitude cropland ecosystems. *In*: Lal, R.; Kimble, J. Levine, E. ; Stewart, B.A. ed. Soil Management and Greenhouse Effect. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. p.69-83
- PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOT, E.T. and HUNT, H.W. 2000. Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*, 48: 147-163
- RASMUSSEN, P.E. and COLLINS, H.P. 1991. Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Advances in Agronomy*, 45:93-134.
- REICOVSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE, G.W.; DOUGLAS JR, C.I. and RASMUSSEN P.E. 1995. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *Journal Soil and Water Conservation*, 50:253-261.
- SÁNCHEZ, P.A. 2002. Soil science as a major player in world development. *In*: CD XVII World Congress of Soil Science, Plenary Session. Keynote Lecture. Thailand. CD.
- SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E.T. and COMBRINK, C. 2000. Soil structure and organic matter: I Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 681-689.
- STUDDERT, G. and ECHEVERRÍA, H. 2000. Crop Rotations and Nitrogen Fertilization to Manage Soil Organic Carbon Dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 1496-1503.
- WRIGHT, A.L. and HONS, F.M. 2004. Soil Aggregation and Carbon and Nitrogen under Soybean Cropping Sequences. *Soil Science Society American Journal*, 68: 507-513

# USO DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS COMO INDICADORES PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO Y LA SUSTENTABILIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS

por Ieda de Carvalho Mendes;  
Fábio Bueno Dos Reis-Junior  
Embrapa - Brasil

## I. MICROORGANISMOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO

La búsqueda de prácticas agrícolas que proporcionen alta productividad y que también consideren los diversos aspectos relativos a la calidad del ambiente, son una ecuación compleja cuya resolución no puede descuidar el componente biológico del suelo, ya que éste presenta una estrecha interrelación con los componentes físicos y químicos. Por ello, todos los factores que afectan negativamente a los microorganismos y promueven pérdidas de la materia orgánica, también provocan un deterioro de las propiedades físicas y químicas del suelo. Los microorganismos representan cerca del 60-80% de la fracción viva y más activa de la materia orgánica del suelo, que constituye a su vez, el principal componente de la fertilidad de los suelos tropicales. Las raíces de las plantas y la fauna del suelo son los otros componentes de la fracción viva de la materia orgánica, constituyendo respectiva-

mente, el 5-10% y el 15-30% de la misma (Theng *et al.*, 1989). A pesar de su importancia en relación al contenido total del carbono orgánico del suelo, el tamaño de los componentes vivos de la materia orgánica es relativamente pequeño, variando entre 1% y 5% del carbono orgánico total del suelo (Jenkinson y Ladd, 1981; Smith, 1990).

La biomasa microbiana del suelo (expresada generalmente en el  $\mu\text{g}$  de  $\text{Cg}^{-1}$  de suelo o  $\text{mg}$  de  $\text{C}$ .  $\text{kg}^{-1}$  de suelo) está constituida por hongos, bacterias y actinomicetos que actúan en los procesos que dan

**Palabras claves:** bioindicadores; biomasa microbiana; enzimas del suelo; ácido fosfatasa; arilsulfatasa;  $\beta$ -glucosidasa; sustentabilidad; calidad del suelo; siembra directa; siembra convencional.

origen al suelo (meteorización de las rocas), formación y mantenimiento de su estructura, hasta la descomposición de residuos orgánicos, el ciclo de nutrientes y la bioremediación de los agentes contaminantes y los metales pesados. En ecosistemas tropicales, donde el nitrógeno y el fósforo están entre los principales factores limitantes para la productividad, también merecen ser destacados los procesos de fijación biológica de nitrógeno, las relaciones simbióticas entre plantas y hongos micorrízicos y la acción de los microorganismos solubilizadores de fósforo y productores de fosfatasa.

Los investigadores y la sociedad, de una manera general, están bastante familiarizados con los conceptos de calidad del agua y del aire y de cómo, el mal uso de estos recursos puede afectar la salud humana y el ambiente. Sin embargo, se observa la falta de importancia del suelo para la humanidad, a pesar de que todo nuestro sistema de producción de alimentos y de fibras se basa en su uso. El interés por el tema "Calidad del suelo" es relativamente reciente, datando del final de la década del ochenta e inicios de la década de noventa. De acuerdo con Doran y Parkin, 1994, la calidad del suelo sería su capacidad de funcionar dentro de los límites de los ecosistemas para: i) sustentar la productividad biológica; ii) mantener la calidad del agua y del aire; y iii) promover la salud humana, de plantas y de animales. Es decir, más allá de la importancia del suelo para la producción de alimentos, el concepto de calidad del suelo también destaca la importancia de este recurso para el funcionamiento global de los ecosistemas. A pesar de la creciente concientización de la conservación y el uso racional del suelo, existe una carencia de indicadores que pueden cuantificar el concepto de calidad del mismo. La multiplicidad de factores químicos, físicos y biológicos que controlan los procesos biogeoquímicos y sus variaciones en función del tiempo y del espacio, aliados a la complejidad del suelo, están entre los factores que dificultan la capacidad de tener acceso a su calidad e identificar parámetros claves que pueden servir como indicadores de su funcionamiento. Por lo tanto, un conjunto mínimo de indicadores englobando atributos físicos, químicos y biológicos deben ser utilizados en los análisis de calidad del suelo (Doran, Parkin, 1994). Cientes de estas limitaciones y del hecho de que ningún indicador ira individualmente a describir y a cuantificar todos los aspectos de la calidad del suelo, Halloway y Stork, 1991, citados por Turco *et al.* (1994), enumeraron las principales características que un buen indicador ecológico de calidad del suelo, debe tener:

- Reflejar algún aspecto de funcionamiento del ecosistema.
- Mostrar una respuesta precisa y rápida a cualquier perturbación.

- Ser de determinación simple y barata.
- Poseer distribución universal, pero con especificidades regionales.

Por ser la parte viva y más activa de la materia orgánica del suelo y actuar en importantes procesos biogeoquímicos, varios estudios demuestran que los indicadores biológicos son más sensibles que los indicadores químicos y físicos para detectar con más antecedentes, las alteraciones que ocurren en el suelo en función de su uso y manejo (Doran, 1980; Dick, 1994; Trasar-Cèpeda *et al.*, 1998; Matsuoka *et al.*, 2003). Esto justifica la necesidad de la inclusión de los indicadores biológicos en los índices de calidad del suelo y de estudios que tengan como objetivo seleccionar cuales indicadores biológicos serían los más apropiados para ese fin.

Conforme a lo destacado por Tótola y Chaer (2002), las dificultades en la interpretación de los indicadores biológicos de la calidad, es decir, saber cuándo es que los valores obtenidos indican un buen suelo, o no, constituye uno de los grandes obstáculos a ser transpuestos a las evaluaciones de la calidad del suelo. Contrariamente a lo que ocurre con los indicadores químicos de fertilidad, cuyos niveles (muy bajo, bajo, medio, adecuado y alto) ya están relativamente bien definidos para cada elemento y tipo de suelo (siempre considerando características como: textura, contenido de materia orgánica, etc.), la base de información disponible sobre los datos biológicos sigue siendo muy pequeña.

Otro aspecto a ser desatacado, es que los valores "ideales" pueden variar conforme al, tipo de suelo, sistemas de manejo y condiciones climáticas. Santana y Bahía-Filho, 1999, utilizaron el término límite de sustentabilidad para separar la condición sustentable de la no-sustentable y sugirieron dos enfoques para el establecimiento de criterios de referencias: 1) condición del suelo nativo y 2) condiciones que maximicen la producción y conserven el ambiente. Los criterios de variación temporal, que implican el acompañamiento de las áreas a través del tiempo, también constituyen otra posibilidad. Entre los tres criterios de referencia, el uso de áreas nativas, con impactos antropogénicos mínimos, ha prevalecido (Dick, 1994; Doran y Parkin, 1994; Trasar-Cepeda *et al.*, 1998; Mendes *et al.*, 2003). Considerando que la cuantificación de la calidad del suelo es un proceso complejo, la elaboración de índices de calidad, englobando aspectos físicos, químicos y biológicos, constituye una forma de agregar y simplificar la información de naturaleza diversa. Estos índices pueden ser utilizados para el monitoreo del estado general del suelo y la recuperación de áreas degradadas; para la identificación de prácticas de manejo más adecuadas y para orien-

tar programas y políticas agrícolas relacionados con la ocupación (uso) del suelo (Santana, Bahía-Filho, 1999). Con su uso, los propietarios agrícolas podrán ofrecer un producto diferenciado comprobando que las prácticas de manejo adoptadas en sus propiedades permiten el mantenimiento/mejora de la calidad del suelo garantizando la preservación de este recurso para las generaciones futuras. El uso de estos índices podrá servir también, como referencia para la valuación de las tierras (Tótoła y Chaer, 2002).

## II. LA REGIÓN DE LOS CERRADOS Y LA AGRICULTURA BRASILEIRA

La región de los Cerrados, una de las mayores biomasas brasileñas, con 204 millones de hectáreas, posee enorme destaque en el escenario agrícola nacional y mundial, siendo al mismo tiempo,

una importante reserva de biodiversidad y potencial productora de alimentos. Es posible, con tecnología, incorporar al sistema productivo hasta 127 millones de hectáreas, manteniendo el 38% del Cerrado como reserva natural.

Desde el inicio de la ocupación agrícola de los Cerrados, esa región viene presentando un desarrollo excepcional (**Cuadro 1.25**). Para ejemplificar, en el 2004/2005, los Cerrados brasileños fueron responsables del 60.2% de la producción nacional de soja, con niveles de productividad (2.728kg/ha) superiores a la media nacional (2.495kg/ha). Ejemplos como ese pueden observarse también en otros cultivos, como en maíz (primera cosecha), donde el promedio de la productividad en los estados de la región Centro-Oeste superó en 55.2% la cosecha brasileña 2004/2005, alcanzando medias de hasta 6.000kg/ha en el Distrito Federal.

**Cuadro 1.25.** Evolución de la producción de granos en la región de los Cerrados de 1975 al 2005 y su contribución relativa (%) en la producción brasileña.

PRODUCTO	Producción -miles toneladas- (% de producción brasileña)				
	1975	1980	1985	1990	2005
<b>Soja</b>	310 (3.14)	1.833 (12.09)	5.961 (32.61)	6.348 (31.92)	36.984 (60.2)
<b>Maíz</b>	2.824 (17.29)	3.706 (18.19)	4.132 (18.77)	4.352 (20.39)	14078 (32.6)
<b>Arroz</b>	2.335 (30.00)	3.555 (36.37)	2.634 (29.19)	1.464 (19.73)	4.329 (34.0)
<b>Feijao</b>	300 (13.14)	231 (11.73)	277 (10.85)	390 (17.51)	1375 (44.9)

Uno de los principales factores responsables de esa envidiable performance fue la generación de tecnologías que permitieron la incorporación de los suelos ácidos, altamente meteorizados y pobres en nutrientes, al proceso agrícola. Entre estas tecnologías, las técnicas para la corrección y la fertilización de los suelos, el lanzamiento de cepas del rizobio para la soja, el desarrollo de cultivares y de sistemas de producción para soja, maíz y trigo adaptados a la región, constituyen algunos de los triunfos de la investigación agrícola en las zonas tropicales.

Sin embargo, a pesar de la excepcional participación en el escenario agrícola nacional, el desarrollo agrícola de la región de los Cerrados, muchas veces también ha sido acompañado por un manejo

inadecuado del suelo, resultando en disminuciones del contenido de materia orgánica, destrucción de los agregados, compactación y erosión (Silva *et al.*, 1994).

Aunque el impacto de los sistemas agrosilvopastoriles en las propiedades químicas y físicas del suelo del Cerrado ha sido relativamente bien documentado, no puede decirse lo mismo del impacto de estos sistemas en las propiedades bioquímicas (actividad enzimática) y microbiológicas (cantidad, actividad, composición y biodiversidad de las comunidades microbianas) de esos suelos.

La carencia de información sobre las comunidades microbianas y su papel en el ciclo de los nutrientes en las sabanas tropicales, contrastan con la abun-

dante información de los ecosistemas de las regiones templadas y otras regiones de Brasil, tales como la Amazonia y la Región Sur.

Hasta 1998, los estudios de microbiología del suelo realizados en la región de los Cerrados, se concentraron en hongos micorrízicos y en rizobiología (selección de cepas adaptadas a las condiciones del Cerrado, para los cultivos de soja, habas, porotos, guisante y otras leguminosas). Existió, hasta entonces, un desconocimiento sobre las propiedades microbiológicas de los suelos del Cerrado, sobre la vegetación nativa y sobre el impacto del sistema agrícola en el funcionamiento de los procesos microbiológicos de esos suelos y sus consecuencias en el mantenimiento, mejora o pérdida de su calidad, después de su incorporación a la agricultura.

En esta conferencia, serán presentados los resultados de los estudios iniciados en 1998 en EMBRAPA Cerrados. En base a estos trabajos poseemos hoy un volumen considerable de información sobre los procesos microbiológicos de los suelos del Cerrado, sobre la vegetación nativa y sobre diversos sistemas agro-pastoriles. En estos estudios fueron monitoreadas las alteraciones provocadas por diferentes sistemas de manejo (cultivos anuales/plantas de cobertura en siembra convencional y en siembra directa, pastos y sistemas integrados de cultivos anuales) en la dinámica de la biomasa y la actividad microbiana de los suelos del Cerrado.

También fue evaluada la posibilidad de uso de indicadores microbiológicos para detectar, con mayor antecedente, los niveles de recuperación de los suelos después del establecimiento de los sistemas de manejo conservacionistas, en áreas con diferentes niveles de degradación. Más allá de los sistemas agrícolas, los estudios también contemplan el efecto de la deforestación de áreas nativas en las propiedades bioquímicas y microbiológicas del suelo.

El carbono de la biomasa microbiana (CBM) fue evaluado por el método de cloroformo fumigación-incubación (CFI). También fueron evaluadas las actividades de tres enzimas del suelo (Tabatabai, 1994) que son parte de los ciclos del carbono ( $\beta$ -glucosidasa), del fósforo (ácido fosfatasa) y del azufre (arilsulfatasa).

### III. IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE SIEMBRA DIRECTA Y LABOREO CONVENCIONAL EN LAS PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS DEL SUELO

La Siembra Directa (SD) además de ahorrar las prácticas tradicionales del arado y del disqueado,

es hoy una realidad como alternativa conservacionista para suelos como los de Brasil, frágiles y sometidos, frecuentemente, a estreses hídricos, térmicos y nutricionales (Sidiras *et al.*, 1982; Sidiras y Pavan, 1986; Lal, 1993; Hungria *et al.*, 1997; Colozzi-Filho y Balota, 1999; Hungria, 2000). De acuerdo con la Asociación de Siembra Directa en Cerrado (APCD) se estima que más de seis millones de hectáreas están cultivadas bajo SD en la región de los Cerrados.

En SD, los macroagregados del suelo se mantienen, preservando el lugar principal de la actividad de los microorganismos (Mendes *et al.*, 2003). Ocurre también, mayor disponibilidad de la materia orgánica, fuente de energía y nutrientes para los microorganismos. Por otra parte, la SD proporciona contenidos más elevados de humedad en el suelo, menores oscilaciones térmicas y temperaturas máximas inferiores, creando condiciones más favorables para los microorganismos (Hungria *et al.*, 1997; Colozzi-Filho y Balota, 1999; Hungria, 2000; Mendes *et al.*, 2003).

Debido a la gran expansión de la SD en Cerrado, áreas bajo SD y laboreo convencional (LC) fueron incluidas en el estudio y serán enfatizadas en esta conferencia. Fueron evaluados, en dos experimentos, los efectos de diversos cultivos de cobertura, en SD y LC, la dinámica del carbono de la biomasa microbiana (CBM) y la actividad enzimática del suelo ( $\beta$ -glucosidasa, ácido fosfatasa y arilsulfatasa). Las muestras de suelo fueron recogidas en las profundidades de 0-5cm y 5-20cm, en los meses de enero (estación lluviosa) y agosto (estación seca), iniciándose en agosto de 1998. El experimento I fue implantado en 1997, consistiendo en sucesiones de cultivos de cobertura/maíz, en dos sistemas de manejo: a) incorporación en pre-siembra del cultivo comercial y b) Siembra Directa. Los tratamientos usados como cultivos de cobertura fueron los siguientes: guando enano cv. Kaki (*Cajanus cajan*) y *Mucuna (Mucuna pruriens)*. En el testigo absoluto, el suelo permaneció con vegetación espontánea. Los cultivos de cobertura fueron sembrados al final de la estación lluviosa y el maíz, al principio. El diseño experimental fue de bloques al azar, en parcelas subdivididas, con tres repeticiones. Las fertilizaciones representaron las parcelas y los sistemas de manejo las subparcelas. El área de las parcelas era de 12m x 30m y el de las subparcelas de 12m x 15m.

Para la evaluación del efecto de un sistema consolidado de SD con respecto al LC, las muestras fueron realizadas en un experimento iniciado en 1992 (experimento II). Este experimento consiste en dos fajas de 320m e implica la evaluación de los efectos de las plantas en cobertura y de los sistemas de preparación del suelo (SD y LC), en la dinámica de la biomasa y la actividad microbiana en una rotación soja/maíz. Una de las fajas se prepara anualmente

con LC (arada y disqueada antes de la siembra del cultivo comercial y disqueada para la incorporación de malezas después de la cosecha) y la otra se prepara con el sistema de SD, desde 1992. En la faja bajo SD, también se prueban como plantas de cobertura, en sub-fajas de 34m x 50m, el nabo forrajero (*Raphanus sativus*) y el mijo (*Pennisetum americanum*). La tercera área evaluada (área III) representa un suelo del Cerrado nativo (Cerrado Ralo) y está situada al lado de las áreas de los experimentos I y II, constituyendo la referencia para evaluar las condiciones originales del suelo.

En el área del experimento II y en el área del Cerrado nativo (área III), también fue evaluada la distribución de la actividad enzimática ( $\beta$ -glucosidasa y ácido fosfatasa) en el perfil del suelo. Las muestras de suelo fueron recogidas en febrero de 2003. Hasta la profundidad de los 30cm, la colecta fue realizada en intervalos de 5 en 5cm. A partir de los 30cm, las muestras fueron recogidas de 10 en 10cm hasta la profundidad de los 70cm, utilizándose un taladro. Cada área fue dividida en tres cuadrantes, y en cada cuadrante se realizaron tres muestras.

#### EL CARBONO DE LA BIOMASA MICROBIANA

Los niveles de carbono de la biomasa microbiana en las áreas de los experimentos I y II, fueron inferiores a los niveles observados en el área de Cerrado nativo, independientemente de la época y de la profundidad de muestreo. Por lo tanto, después de la incorporación de los suelos del Cerrado nativo al proceso agrícola, ocurrió una caída acentuada en los niveles de biomasa microbiana, es decir, de la fracción viva y más activa de la materia orgánica del suelo. Entre los factores responsables de condiciones más favorables para el desarrollo microbiano en el área bajo vegetación nativa, merece ser destacada la ausencia de la preparación del suelo y la mayor diversidad florística de esta área. La ausencia de movimiento del suelo favorece la preservación de las hifas fúngicas, la acumulación de rastrojo en la superficie del suelo (propiciando la ocurrencia de menor variación y de niveles más adecuados de temperatura y humedad), resultando en una mayor presencia de raíces finas (que aumentan la entrada de sustratos carbonados al sistema, vía exudados radiculares). La diversidad florística de las áreas nativas no sólo incide en la producción (cantidad), sino también en la calidad del rastrojo arpillera.

En el experimento II (implantado en 1992), en la profundidad 0-5cm, desde el muestreo de enero de 1999, los tratamientos bajo SD han presentado niveles de carbono de la biomasa microbiana (CBM) de 20 a 270% superiores a los presentes en LC. En el experimento I (implantado en 1997), las evaluaciones de 1998 y 1999 no presentaron diferencias significati-

vas entre los tratamientos, en relación a los contenidos de carbono de la biomasa microbiana, en las profundidades de 0-5cm y 5-20cm. Sin embargo, en la evaluación realizada en enero de 2000 (tiempo lluvioso), en la profundidad de 0-5cm, fue observada por primera vez, en los tratamientos bajo SD, una tendencia de mayores niveles de biomasa (50% de aumento), la cual desapareció en la estación seca de 2001. Estos resultados evidencian la sensibilidad de los indicadores microbiológicos para detectar modificaciones iniciales, que ocurren después del establecimiento de los sistemas de SD en suelos de la región de los Cerrados y la importancia de acompañar la evolución de estos sistemas a través del tiempo.

Las principales diferencias entre SD y LC fueron observadas en la profundidad de 0-5cm, siendo más acentuadas en el experimento II, donde la SD ya estaba consolidada. Esto ocurre porque en el sistema de SD, la aplicación localizada de fertilizantes y la ausencia de movimiento del suelo (que favorece la acumulación de restos del cultivo y de raíces en los cinco centímetros iniciales) propician la estratificación de propiedades químicas, bioquímicas y microbiológicas bien distintas, cuando se comparan a la profundidad de 5-20cm. En las áreas bajo LC, donde el movimiento del suelo permite una distribución más homogénea de los fertilizantes y restos del cultivo en el perfil, esa diferenciación no es tan acentuada. Las diferencias entre las profundidades de 0-5cm y 5-20cm tienden a aumentar con el tiempo de implantación de la SD. Por lo tanto, las diferencias observadas entre los sistemas de SD y LC, fueron más pronunciadas en el experimento II, donde la SD fue establecida en 1992.

En ninguno de los dos experimentos hubo efectos significativos de las plantas en cobertura sobre el contenido de carbono de la biomasa microbiana. Tampoco hubo variaciones significativas en los contenidos de carbono en las evaluaciones realizadas en las épocas secas y lluviosas. La ausencia de la variación estacional puede estar relacionada con el hecho de que las muestras recogidas en las épocas seca y lluviosa, fueron estandarizadas en su nivel de humedad. Sin embargo, otra hipótesis estaría relacionada con la adaptación gradual de la microflora del suelo a los cambios del ambiente, pudiendo haber tenido, a lo largo de siete meses que separan la colecta de las muestras, cambios cualitativos, los cuáles no son posibles de determinar por el método cloroformo fumigación-incubación, utilizado en la determinación del carbono de la biomasa microbiana, ya que es un método cuantitativo.

#### LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DEL SUELO

En la profundidad de 0-5cm, la actividad de la enzima  $\beta$ -glucosidasa fue superior en el LC del Cerra-

do, que en los tratamientos bajo SD del experimento II. En el experimento I, las actividades observadas en LC y en SD fueron similares y superiores a las del Cerrado nativo. La  $\beta$ -glucosidasa actúa en la etapa final del proceso de la descomposición de la celulosa, hidrolizando los residuos de celobiosa (Tabatabai, 1994). Como la celobiosa es un disacárido de rápida descomposición en el suelo, la mayor actividad observada en las áreas agrícolas, puede estar relacionada con la cantidad y calidad del residuo vegetal que retorna al suelo.

En las áreas nativas, la mayor diversidad de especies de plantas, contribuye para que el residuo orgánico (gajos, ramas, hojas, flores, frutos y semillas) que retorna al suelo sea más complejo, lo que explicaría las bajas actividades observadas de la  $\beta$ -glucosidasa en estas áreas, una vez que otras enzimas (celulasas, ligninasas) también participarían de los procesos de la descomposición de esos residuos. Considerando que las plantas constituyen fuente de enzimas para el suelo, es posible que la contribución de las plantas cultivadas tenga influencia en este aspecto. Finalmente, se debe mencionar, que las diferencias entre las áreas nativas y las cultivadas, podrían estar relacionadas con cambios cualitativos en la composición de las comunidades microbianas presentes en estas áreas.

En el experimento II, en las épocas de muestreo (seca y lluviosa), la actividad de la arilsulfatasa, en la profundidad de 0-5cm, fue superior en el tratamiento bajo SD que en las áreas bajo LC y vegetación nativa, que fueron similares. En profundidades de 5-20cm no hubo diferencias entre las áreas nativas y las cultivadas. Resultados semejantes también fueron obtenidos en el experimento I, solamente llevado a cabo con muestras realizadas en época lluviosa (dado que las diferencias entre SD y LC desaparecen en la época seca).

Independientemente de la época de muestreo, en las dos profundidades evaluadas (0-5cm y 5-20cm), los mayores niveles de actividad de la ácido fosfatasa fueron observados en las áreas nativas. Esto se debe al hecho de que, como en estas áreas no existe la entrada de fósforo (P) vía productos químicos, todo el ciclo de ese elemento, se realiza con procesos de solubilización de fuentes poco solubles y principalmente a través de la mineralización del fósforo de la materia orgánica por las fosfatasa. La reducción de la actividad de la fosfatasa en las áreas cultivadas, se relaciona con el efecto inhibitor del uso de productos fosfatados rápidamente solubles (Gupta y Germida, 1988; Mendes *et al.*, 2003; Carneiro *et al.*, 2004). Independientemente de la época de muestreo, en las áreas bajo SD del experimento II, en la profundidad 0-5cm, la actividad de la fosfatasa fue mayor que en las áreas de LC, a pesar de las mayores concentraciones fósforo (Mehlich) observadas en las áreas de SD. En el

experimento I, este efecto ocurrió solamente en las muestras de la estación lluviosa. La mayor actividad de la ácido fosfatasa en la SD, se relaciona con la ausencia de movimiento del suelo y con el uso localizado de los fertilizantes fosfatados, que favorece a la concentración del fertilizante fosfatado en el surco de siembra. De esta forma, la inhibición de las fosfatasa por esos fertilizantes no es tan acentuada como en laboreo convencional, donde son mezclados en el suelo.

Los altos valores de la ácido fosfatasa y arilsulfatasa en las áreas de SD, están relacionados y reflejan la estrecha relación que existe entre la química y la bioquímica de los suelos. La elevada actividad de la arilsulfatasa en las áreas de SD se debe a la competencia entre los aniones  $H_2PO_4$  y  $SO_4$  para los mismos sitios de adsorción en los coloides del suelo. Como el anión  $H_2PO_4$  es adsorbido preferencialmente en esos pequeños sitios (Tisdale *et al.*, 1993) y como ellos son más concentrados en las áreas de SD, ocurre una deficiencia de azufre, que estimula la producción y la actividad de la arilsulfatasa en esas áreas. Así, en las áreas de SD, la alta concentración de fósforo extraíble (P Mehlich) promueve una deficiencia de azufre en los cinco centímetros iniciales del suelo, la cual es compensada por el estímulo de la actividad de la arilsulfatasa.

Las mayores actividades de las tres enzimas evaluadas en los cinco centímetros iniciales del suelo, especialmente en el área II, también son una consecuencia de la acumulación de materia orgánica, observada en esa profundidad. La materia orgánica actúa protegiendo y manteniendo las enzimas del suelo en sus formas activas, para la formación de complejos enzima-compuestos húmicos (Deng y Tabatabai, 1997).

A semejanza de lo que fue observado con la biomasa microbiana, las plantas en cobertura tampoco influenciaron la actividad de las tres enzimas evaluadas. Con referencia a la dinámica de la actividad enzimática en las épocas seca y lluviosa, las actividades enzimáticas determinadas en la época lluviosa fueron superiores a las de la época seca. En las áreas cultivadas, las diferencias entre estos dos períodos fueron observadas solamente en la profundidad de 0-5cm. En las áreas nativas, las diferencias entre seco y lluvioso también fueron observadas en profundidades de 5-20cm, sin embargo en forma menos acentuada que en la profundidad de 0-5cm.

Con respecto a la distribución de la actividad enzimática ( $\beta$ -glucosidasa y ácido fosfatasa), en profundidad, en el perfil del suelo, fue verificado que debido a la ausencia de movimiento mecánico del suelo, el perfil de distribución de la actividad enzimática en SD fue el que más se asemejó al del Cerrado nativo, con las actividades más concentra-

das en los cinco centímetros iniciales del suelo. En el área bajo LC, el movimiento del suelo con el disco de arado permitió una distribución más homogénea de los fertilizantes y de los restos culturales en el perfil del suelo, hasta la profundidad de 25cm.

#### **IV. USO DE INDICADORES BIOLÓGICOS EN SUELOS DE PROPIEDADES RURALES BAJO SIEMBRA DIRECTA Y LABOREO CONVENCIONAL EN LA REGIÓN DEL CERRADO**

Después de la constatación, en experimentos conducidos en centros de investigación, de que las propiedades biológicas y bioquímicas del suelo son indicadores sensibles, que pueden ser utilizados en el monitoreo de las alteraciones ambientales debido al uso agrícola; fue realizado en la cosecha 2003/2004, un estudio en seis propiedades rurales en el municipio de Río Verde, en el estado de Goiás. Este estudio tuvo por objetivo evaluar en condiciones de campo el uso de parámetros biológicos como indicadores de las alteraciones en el suelo, debido a los sistemas de manejo.

Fueron evaluados el carbono de la biomasa microbiana (método cloroformo fumigación-incubación) y la actividad de tres enzimas del suelo:  $\beta$ -glucosidasa, ácido fosfatasa, y arilsulfatasa (asociadas a los ciclos del carbono, del fósforo, y del azufre, respectivamente).

Seis haciendas situadas en el municipio de Río Verde (VAYA), en Latosotes Rojo-Amarillos Distróficos, textura franco-arcillosa, fueron incluidas en el estudio. Estos campos constituyen cronosecuencias en función de la época de adopción del sistema de SD: en una de las haciendas se realiza LC desde hace 18 años (LC), y las otras presentan períodos distintos de adopción del sistema de SD: uno, cinco, nueve, once y trece años (SD-1, SD-5, SD-9, SD-11 y SD-13, respectivamente). En las propiedades bajo SD fueron identificados dos tipos de manejo: tipo 1 - soja/maíz/barbecho y tipo 2 - soja/maíz/mijo o sorgo, los cuales están representados en el muestreo. Como referencia de las condiciones originales de los suelos, fueron utilizadas áreas con vegetación nativa próximas a las áreas experimentales.

En la época de colección de las muestras de suelo, 26 de marzo de 2004, las haciendas con LC y SD-11 presentaron suelo sin cobertura; los campos SD-1, SD-5 y SD-13 presentaban sorgo y el SD-9 maíz de segunda zafra. Para el muestreo, las propiedades rurales fueron divididas en tres zonas y en cada zona fueron retiradas muestras compuestas en la profundidad de 0-10cm, con el uso del taladro holandés. Las muestras fueron homogeneizadas, pasadas por una zaranda de malla de 4mm y almace-

nadas a una temperatura de  $7 \pm 3^\circ\text{C}$  hasta el momento de la realización de los análisis.

Según lo verificado en estudios anteriores, reducciones significativas del carbono de la biomasa microbiana y de la actividad de las enzimas arilsulfatasa y ácido fosfatasa, fueron observadas en las áreas cultivadas, pero no en las áreas de vegetación nativa. Entre las seis propiedades rurales evaluadas, las propiedades SD-5 y SD-9 presentaron, respectivamente, el menor y el mayor contenido de carbono de la biomasa microbiana. Las demás propiedades no se diferenciaron entre sí con respecto a ese parámetro.

Con referencia a la propiedad bajo LC, los aumentos de la actividad de la enzima  $\beta$ -glucosidasa fueron observados solamente en las propiedades SD-9 y SD-11. Incrementos en la actividad de la ácido fosfatasa se observaron en todas las propiedades bajo SD, con la excepción de SD-1. Por otra parte, se constataron aumentos de la actividad de la arilsulfatasa en todas las propiedades bajo SD, inclusive en aquella donde la SD había sido implantada apenas un año atrás.

No hubo relación entre la presencia o no de cobertura del suelo y los parámetros biológicos evaluados. Los resultados conseguidos en este estudio, con las muestras de suelos de las haciendas, colectadas a la profundidad de 0-10cm, demostraron que entre los indicadores biológicos evaluados, la actividad de las enzimas arilsulfatasa y ácido fosfatasa, fueron las más distinguidas en términos de capacidad para diferenciar las áreas bajo SD del LC.

Se debe destacar que a diferencia de estudios anteriores, para el estudio de las propiedades en Río Verde, la profundidad de la colección de las muestras fue de 0-10cm. Es posible que los efectos concentrados en los cinco centímetros iniciales del suelo hallan sido diluidos y consecuentemente, se hallan enmascarado en el muestreo realizado. Esta profundidad de muestreo fue elegida anticipando la posibilidad de que un día, los indicadores biológicos puedan ser utilizados por los agricultores en el monitoreo de la calidad del suelo y de sus propiedades. El muestreo en los diez centímetros iniciales del suelo, más allá de una mejor aceptación por parte de los agricultores, es más representativo que aquel realizado en los cinco centímetros iniciales. En esa profundidad de muestreo, la actividad de las enzimas arilsulfatasa y ácido fosfatasa fueron destacadas, evidenciando su potencialidad como indicadores sensibles, capaces de detectar alteraciones en el funcionamiento biológico del suelo, antes de que las alteraciones significativas en el contenido de carbono de la biomasa microbiana ocurran.

## V. EFECTO DE LA DEFORESTACIÓN DE ÁREAS NATIVAS EN LAS PROPIEDADES BIOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL SUELO

Como parte de los trabajos para evaluar la sensibilidad de los indicadores bioquímicos y microbiológicos y la detección de los cambios que ocurren en el suelo, se evaluó un área del Cerrado recién deforestada. La vegetación presente originalmente en el área era de tipo Cerrado sentido estricto y un suelo Latosoles rojo-oscuro. La deforestación fue efectuada en agosto de 1999 (época seca), con dos tractores unidos por cadena de volteo, seguido por el pasaje de una pala niveladora para el hilerado de troncos, de ramitas y de raíces. A continuación, fue efectuada la distribución y la incorporación de rocas calcáreas con el arado. La parte del área con vegetación original fue preservada, sirviendo como referencia para la evaluación de las condiciones originales del suelo. Fueron determinados los contenidos de carbono en la biomasa microbiana del suelo, las tasas de respiración microbiana (carbono rápidamente mineralizable) y la actividad enzimática ( $\beta$ -glucosidasa y ácido fosfatasa). Las evaluaciones fueron realizadas a los quince días, a los tres meses y a un año después de la deforestación. La evaluación de tres meses, fue hecha antes de la siembra de maíz y antes de la fertilización con fósforo correctivo. En la evaluación efectuada a los quince días, las colecciones de suelo en el área nativa y el área recién deforestada fueron realizadas a profundidades de 0-20cm. En los muestreos realizados a los tres meses y a un año después de la deforestación, las muestras fueron estratificadas en 0-5cm y 5-20cm.

En el primer muestreo realizado a los 15 días, en la profundidad de 0-20cm, fue observada una reducción del 17% en el carbono de la biomasa y un aumento del 21% en la tasa de respiración microbiana. Los niveles de la actividad enzimática no fueron modificados. Sin embargo, en el muestreo realizado a los tres meses después de la deforestación, coincidiendo con el inicio de la estación lluviosa, fueron observadas en las áreas deforestadas, en la profundidad de 0-5cm, reducciones en el carbono de la biomasa microbiana, en la respiración microbiana y en la actividad de la  $\beta$ -glucosidasa, de 43%, 32% y 42%, respectivamente. En el muestreo realizado un año después de la deforestación, las reducciones en el carbono de la biomasa microbiana y en la actividad de la  $\beta$ -glucosidasa fueron más acentuadas todavía, alcanzando un 76% y 75%, mientras que la respiración microbiana presentó valores similares a los encontrados en el área nativa. Con referencia al área nativa, la actividad de la fosfatasa presentó un aumento de 21% en la evaluación a los tres meses y una

reducción altamente significativa de 80% en la evaluación realizada un año después de la deforestación. Esa disminución fue consecuencia de la fertilización correctiva de fósforo realizada inmediatamente después del muestreo de noviembre, inhibiendo la actividad de esa enzima.

En la profundidad de 5-20cm, el comportamiento de las propiedades microbiológicas y bioquímicas, después de la deforestación, fue totalmente distinto al observado en la profundidad de 0-5cm. Los niveles de la biomasa microbiana, en la profundidad de 5-20cm fueron levemente superiores a los del área nativa (23% y 15% de aumento en los muestreos realizados a los tres meses y a un año). Los niveles de actividad de la  $\beta$ -glucosidasa permanecieron inalterados y la respiración microbiana duplicada (en las dos muestras). Los aumentos en la respiración microbiana se pueden atribuir a la incorporación de restos vegetales con el arado, aumentando de esa forma la entrada del carbono rápidamente mineralizable por los microorganismos, que resulta en un aumento de liberación del  $\text{CO}_2$ .

Comparando los resultados obtenidos, en las dos profundidades, esta claro que el impacto de la deforestación fue más acentuado en los 5cm iniciales del suelo. Cabe destacar la gran pérdida de biomasa microbiana, asociada posiblemente a la ruptura de hifas de los hongos micorrízicos (a pesar de ser menos numerosos que las bacterias, los hongos constituyen la mayor parte de la biomasa microbiana del suelo) y a la pérdida de parte de la capa superficial del suelo, cuando ocurre el pasaje de dos tractores unidos con cadena de destronque y de la pala niveladora. En el área nativa, el mayor contenido de la biomasa microbiana en la profundidad de 0-5cm, es consecuencia de la acumulación del rastrojo en la superficie del suelo. La presencia del mismo aumenta la entrada de residuos carbonados al sistema, favoreciendo a la comunidad microbiana del suelo. Esta estratificación desaparece cuando se mueve el suelo, con el arado.

Un año después de la deforestación, la ruptura del equilibrio microbiológico del suelo también causó pérdidas de 30% de la materia orgánica en la profundidad de 0-5cm. En este mismo período, los contenidos de materia orgánica en la profundidad de 5-20cm permanecieron inalterados.

## VI. LA EXPERIENCIA BRASILEÑA CON LOS INDICADORES BIOLÓGICOS

Basado en los datos de los estudios de microbiología del suelo disponibles actualmente para las condiciones brasileñas, se condiciona la posibilidad del uso de los parámetros microbiológicos como indicadores de la calidad del suelo.

En los estudios que fueron conducidos hasta el momento en Brasil, fue evidenciado en la Región Sur que la biomasa microbiana, en la profundidad de 0-10cm, es superior en suelos bajo sistema de SD que bajo LC (Cautelan y Vidor, 1990; Oak, 1997; Cattelan *et al.*, 1997; Hungría *et al.*, 1997; Balota *et al.*, 1998; Hungría *et al.*, 2002). Por otra parte, en el Paraná, fue constatada una disminución del cociente metabólico ( $qCO_2$ ) microbiano que, aliado a la mayor biomasa, determinaría, en el largo plazo, una mayor acumulación de carbono en el suelo (Balota *et al.*, 1998; Hungría *et al.*, 2002). Las alteraciones evidenciadas en esos ensayos ocurrieron en un período anterior al de los cambios en los parámetros químicos y físicos, siendo un primer indicador de que las evaluaciones microbiológicas podrían utilizarse para la determinación de la calidad del suelo (Balota *et al.*, 1998; Hungría *et al.*, 2002).

En los estudios conducidos por nosotros en EMBRAPA Cerrados, los resultados obtenidos evidenciaron que el impacto de la actividad agrícola en las propiedades microbiológicas fue más acentuado en la capa superficial del suelo (0-5cm) e implicó reducciones en el contenido de carbono de la biomasa microbiana y en las actividades de las enzimas ácido fosfatasa y arilsulfatasa (relacionados con el ciclo del fósforo y el azufre orgánicos, respectivamente), siendo acompañadas por incrementos en el carbono no fácilmente mineralizable y en la actividad de la enzima glucosidasa, asociada al ciclo del carbono (Carneiro *et al.*, 2004; Matsuoka *et al.*, 2003; Mendes y Vivaldi, 2001; Mendes *et al.*, 2003; Oliveira *et al.*, 2001).

Los parámetros microbiológicos fueron eficientes para detectar los cambios que ocurrieron en el suelo, en virtud del sistema de manejo y de su incorporación a la actividad agrícola. Por ejemplo, en el experimento donde la SD fue establecida en 1997, no fue posible, por medio del contenido de la materia orgánica del suelo, distinguir los sistemas de SD y LC. Sin embargo, se observó que entre los tantos parámetros microbiológicos evaluados, la actividad de las enzimas arilsulfatasa y ácido fosfatasa, en profundidades de 0-5cm, diferenció los dos sistemas, en la estación lluviosa. En este contexto, se debe destacar la importancia de la opción correcta no solo de la época del muestreo, sino también de la profundidad de colecta de las muestras, ya que la mayor parte de las diferencias fueron detectadas a los 0-5cm de profundidad.

La época de la implantación de SD acentúa las diferencias entre los dos sistemas. En el experimento II, iniciado en 1992, las diferencias entre los sistemas de SD y LC fueron consolidadas y detectadas en las épocas secas y lluviosas. En el experimento I, iniciado en 1997, las diferencias entre SD y LC fueron observadas solamente en la época lluviosa.

Aunque los estudios mencionados arriba, realizados en Brasil, han identificado al uso de parámetros biológicos como prometedores para evaluar el impacto de diversos sistemas de manejo y usos del suelo, se debe destacar que los mismos fueron realizados en forma puntual. Teniendo como objetivo la construcción de una base de datos consistente sobre las cualidades y atributos biológicos de diferentes suelos brasileños, existe la necesidad de un esfuerzo a nivel nacional para la realización de evaluaciones sistemáticas, para medir e interpretar los parámetros que sirvan adecuadamente como indicadores, estandarizando los métodos desde el muestreo, el nivel de abastecimiento, el pre-tratamiento diario de las muestras hasta los procedimientos analíticos y la presentación de los resultados (Oliveira *et al.*, 2001; Tótola, Chaer, 2002).

## VII. PERSPECTIVAS FUTURAS

- El paso siguiente a estas investigaciones, en EMBRAPA Cerrados, será el estudio de las implicancias agronómicas, en el corto, medio y largo plazo de esos impactos. Algunas interrogantes de como hasta que punto la pérdida de biomasa microbiana en las áreas agrícolas será relacionada con la pérdida de diversidad genética y funcional, cuales son las implicancias de la pérdida de biomasa y de diversidad microbiana en el funcionamiento de los sistemas agrícolas y hasta que punto el aumento en la actividad de enzimas, como la ácido fosfatasa, podrá reflejarse o no en una reducción en el uso de fertilizantes, todavía persisten. Las respuestas a estas preguntas serán muy importantes para que en el futuro, más allá de las propiedades químicas y físicas, la determinación de las propiedades biológicas y bioquímicas puedan ser parte de la rutina de los análisis de suelo.
- La demanda de parámetros que definan la "calidad" de un suelo es grande. Sin embargo, todavía no existe información, en número suficiente y analizada en conjunto, que permita la identificación de uno o más parámetros para evaluar el estado actual del componente biológico del suelo y supervisar su evolución a través del tiempo. La carencia de una base de datos con esta información también dificulta la interpretación de los valores de estos

parámetros así como su encuadre (muy bajo, bajo, medio, adecuado, alto).

- En el 2004 fue iniciado por EMBRAPA, en Brasil, un proyecto a nivel nacional que tiene como objetivo evaluar el uso de atributos microbiológicos (biomasa, actividad y diversidad microbiana) como bioindicadores de la calidad del suelo a través del monitoreo de diversos agroecosistemas en varias regiones del país. Este proyecto incluirá varios agroecosistemas distribuidos en las regiones Centro-Oeste, Sur, Sureste y Noreste. Para alcanzar los objetivos serán evaluados, cultivos anuales de granos en sistemas de SD y siembra convencional (regiones Sur y Centro-Oeste), sistemas de cultivos orgánicos con hortalizas y cultivos anuales (regiones Sur y Centro-Oeste), sistemas semi-perennes con caña de azúcar (regiones al Noreste y Sudeste), sistemas perennes con pastos (regiones Centro-Oeste y Noreste) y sistemas integrados por agricultura/ganadería (región Centro-Oeste). En cada lugar las comparaciones entre los diversos sistemas de manejo serán realizadas utilizando como referencia ("línea base") áreas nativas próximas a las áreas experimentales. Las metodologías usadas en cada área experimental serán estandarizadas desde la colecta (profundidad 0-10cm), preparación, hasta el análisis de las muestras. Serán evaluados, parámetros químicos y físicos del suelo, así como los rendimientos de los cultivos o la producción de la biomasa, obtenidos en cada lugar.

Entre los resultados esperados se pueden destacar:

- Ampliación del conocimiento sobre el impacto de diversos sistemas agrícolas en el funcionamiento de los procesos microbiológicos de los suelos brasileros y sus consecuencias en el mantenimiento, mejora o disminución de la calidad de los mismos, después de su incorporación a la agricultura.
- Determinación de los indicadores microbiológicos más apropiados para este tipo de estudio, considerando las dimensiones continentales de Brasil y la diversidad de agroecosistemas.
- Formación de una base de datos microbiológica hasta entonces inexistente en el país.
- Elaboración de un índice para la evaluación de la calidad de los suelos y la sustentabilidad de los agroecosistemas, utilizando los atribu-

tos microbiológicos, químicos y físicos evaluados en el proyecto.

Los investigadores implicados en el proyecto vislumbran la posibilidad que en un futuro próximo, más allá de las propiedades químicas y físicas, las determinaciones de las propiedades biológicas podrían ser parte de las rutinas de los análisis de suelo. Para ello, la identificación rápida y precisa de las alteraciones del suelo, el conocimiento y uso de los bioindicadores por los agricultores, será importante en el sentido de incentivar a aquellos quienes ya están adoptando sistemas de manejo conservacionistas, así como en el sentido de alertar a los agricultores que están adoptando sistemas de manejo que pueden conducir a la degradación del suelo.

Otras aplicaciones de los bioindicadores implican la valuación de las tierras y de productos agrícolas, el monitoreo de programas de recuperación de áreas degradadas y la oferta de los subsidios que tienen como objetivo la implementación y fiscalización de políticas agrícolas y legislaciones ambientales, entre otras.

La agricultura del tercer milenio no podrá ignorar el hecho de que el suelo posee vida y que es fundamental para el mantenimiento de otras formas existentes de vida en el planeta. Dentro de las perspectivas de agotamiento de importantes fuentes de recursos naturales no renovables, el mejor entendimiento del componente biológico del suelo será decisivo para la resolución de la ecuación, implicando el mantenimiento de altas productividades y sustentabilidad de los sistemas agrícolas.

## VIII. AGRADECIMIENTOS

Al técnico agrícola Osmar Teago de Oliveira, a los funcionarios del laboratorio de Microbiología del suelo: Maria das Dores Silva; Edivaldo Oliveira das Neves; Emilio J. Taveira y Odete J. dos Santos, y a los estudiantes Anderson Barbosa dos Santos, Lucas Rolim Machado, Luciana Gomes da Silva, Lidinalva da Silva Ribeiro, Geancarlo da Silva Ribeiro e Carla Albuquerque de Sousa. A la colega Mariangela Hungria por todo el incentivo y apoyo en la divulgación de estos trabajos.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. e HUNGRIA, M. 1998. *Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 22. pp.641-649.
- CARNEIRO, R.G; MENDES, I.C.; LOVATO, P.E. e CARVALHO, A.M. 2004. *Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, n.7. pp.661-669.
- CARVALHO, Y. 1997. *Densidade e atividade dos microrganismos do solo em plantio direto e convencional, na região de Carambeí – PR*. (Mestrado em Agronomia). Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CATTELAN, A.J. e VIDOR, C. 1990. *Sistemas de culturas e a população microbiana do solo*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.14. pp.125-132.
- CATTELAN, A.J.; GAUDÊNCIO, C.A. e SILVA, T.A. 1997. *Sistemas de culturas em plantio direto e os microrganismos do solo, na cultura da soja, em Londrina*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.21. pp.293-301.
- COLOZZI-FILHO, A. e BALOTA, E.L. 1999. *Plantio direto: Microrganismos e processos*. In: Siqueira, J.O.; Moreira, F.M.S.; Lopes, A.S.; Guilherme, L.R.; Faquin, V.; Furtinni, A.E.; Carvalho, J.G. (Eds.). Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationships. Lavras: SBCS/UFLA/DCS.
- DENG, S.P. and TABATABAI, M.A. 1997. *Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: 3. phosphatases and arylsulfatase*. Biology and Fertility of Soils, Berlin, v.24, n.2. pp.141-146.
- DICK, R.P. 1994. *Soil enzymes activities as indicators of soil quality*. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdiek, D. F.; Stewart, B. A. (Ed). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America. pp.107-124. (Special Publication number, 35).
- DORAN, J.W. 1980. *Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage*. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 44. pp.765-771.
- DORAN, J.W. and PARKIN. T.B. 1994. *Defining and assessing soil quality*. In: Doran, J. W.; Coleman, D.C.; Bezdiek, D.F.; Stewart, B.A. (Ed). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America. pp.107-124. (Special Publication number, 35).
- GUPTA, V.V.S.R. and GERMIDA, J.J. 1988. *Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregation size classes as affected by cultivation*. Soil Biol. Biochem. 20:777-786.
- HUNGRIA, M. 1999. *Características biológicas em solos manejados sob plantio direto*. In: Reunión de la Red Lationamericana de Agricultura Conservacionista, 5., Florianópolis. Anais. Florianópolis: EPAGRI, 2000. (CD Rom).
- HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S.; BALOTA, E.L. e COLOZZI-FILHO, A. 1997. *Importância do sistema de semeadura direta na população microbiana do solo*. Londrina: EMBRAPA-CNPSO. 9p. (EMBRAPA-CNPSO. Comunicação Técnico, 56).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; FRANCHINI, J.C.; CHUEIRE, L. M.O.; MENDES, I.C.; ANDRADE, D. S.; COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E.L. and LOUREIRO, M. F. 2002. *Microbial quantitative and qualitative changes in soils under different crops and tillage management systems in Brazil*. In: International Technical Workshop on Biological Management of soil Ecosystems for Sustainable Agriculture. Program, abstracts and related documents. Londrina: Embrapa Soja. p.76.
- JENKINSON, D.S. and LADD, J.M. *Microbial biomass in soil: measurement and turnover*. In: Paul, E.A.; Ladd, J.M. (Ed.). Soil biochemistry. New York: M. Dekker, 1981. v.5. pp.415-471.
- LAL, R. 1993. *Role of no-till farming in sustainable agriculture in tropics*. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 1. 1993, Ponta Grossa. Anais. Ponta Grossa: IAPAR. pp.29-62.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I.C. e LOUREIRO, M.F. 2003. *Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste/MT*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27. pp.425-433.

- MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S. e GOMES, A.C. 2003. *Propriedades biológicas em agregados de um LE sob plantio convencional e direto no Cerrado*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27. pp.435-443.
- MENDES, I.C. e VIVALDI, L. 2001. *Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob mata de galeria na região do DF*. In: Ribeiro, J.F.; Fonseca, C.E.L. da; Sousa-Silva, J.C. (Ed.). Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2001. pp.664-687.
- MENDES, I.C.; LOVATO, P.E. e CARVALHO, A.M. 2004. *Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, n.7. pp.661-669.
- OLIVEIRA, J.R.A., MENDES, I.C. e VIVALDI, L. 2001. *Biomassa microbiana de carbono em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25. pp.863-871.
- SANTANA, D.P. e BAHIA-FILHO, A.F.C. 1999. *Indicadores de qualidade do solo*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27, 1999, Brasília. Ciência do Solo e Qualidade de Vida. Resumos. Brasília: EMBRAPA Cerrados, UnB 1999. CD. Rom.
- SIDIRAS, N. e PAVAN, M.A. 1986. *Influência do sistema de manejo do solo na temperatura do solo*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.10. pp.181-184.
- SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C. and DERPSCH, R. 1982. *Comparison of three different tillage systems with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on an oxisol*. Journal of Agronomy and Crop Science, Berlin, v.151. pp.137-148.
- SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J. e RESK, D.V.S. 1994. *Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região dos cerrados do oeste baiano*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.18. pp.541-547.
- SMITH, J.L. e PAUL, E.A. 1990. *The significance of soil microbial biomass estimations*. In: Bollag, J.; Stotzky, D. G. (Ed.). Soil biochemistry. New York: M. Dekker. v.6. pp.357-396.
- TABATABAI, M.A. 1994. *Soil enzymes*. In: Weaver, R. W.; Scott, A.; Bottomley, P. J. (Ed.). Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America, 1994. Part 2. pp.778-835. (Special Publication, 5).
- THENG, B.K.G.; TATE, K.R.; SOLLINS, P.; MORIS, N.; NADKARNI, N. and TATE III, R.L. 1989. *Constituents of soil organic matter in temperate and tropical soils*. In: Coleman, D. C.; Oades, J. M.; Uehara, G., (Ed.). Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Hawaii: University of Hawaii/NIFTAL Project, 1989. pp.5-31.
- TISDALE, S.; NELSON, W.L; BEATON, J.D. and HAVLIN, J.H. 1993. *Soil fertility and fertilizers*. Macmillan Publishing Company, New York. 634p.
- TÓTOLA, M.R. e CHAER, G.M. 2002. *Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos*. In: Alvarez, V.H; Schaefer, C.E.G.R; Barros, N.F.; Mello, J. W.V.; Costa, L.M. (Eds.). Tópicos em Ciência do Solo, Vol. 2. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. pp.195-276.
- TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, C.; GIL-SOTRES, F. and SEOANE, S. 1998. *Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties*. Biology and Fertility of Soils 26:100-106.
- TURCO, R.F.; KENNEDY, A.K. and JAWSON, M.D. 1994. *Microbial indicators of soil quality*. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdiek, D.F.; Stewart, B.A. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994. pp.107-124. (Special Publication number, 35).

# NEMATODOS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD DE SUELOS

*por Mónica Boccolini;  
Beatriz Masiero  
INTA Marcos Juarez – Argentina*

## I. INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad de los sistemas esta fundamentada en tres conceptos: biodiversidad, flujo de energía y transformación y reciclado de nutrientes (Ribeiro da Silva y Saggin Jr., 2004). La biología de suelos se ocupa de los componentes vivos del sistema, responsables en gran parte de las transformaciones que sufren los nutrientes para las plantas. Radica aquí la importancia del conocimiento científico, de modo de propiciar un manejo adecuado en las actividades agrícolas que maximicen la contribución de los organismos que pueblan el suelo a la productividad agropecuaria. El papel de la biota del suelo es fundamental para que sean establecidos parámetros de sustentabilidad, para los más diferentes ecosistemas, en el sentido de garantizar la sustentabilidad en la explotación agrícola (Constantini, 2000).

### *FAUNA DEL SUELO COMO INDICADORA DE MODIFICACIONES EN LOS AGROECOSISTEMAS*

Las prácticas agrícolas provocan alteraciones en la fauna edáfica y en los microorganismos, en diferen-

te grado. Las labranzas y el uso de productos químicos producen efectos directos e indirectos sobre la biota del suelo (Constantini, 2000). Como consecuencia, en los sistemas productivos ha prevalecido la disminución de la biodiversidad, una aceleración del flujo de energía y una continua remoción de los nutrientes del sistema (Ribeiro da Silva y Saggin Jr, 2004). Por esto, se hace importante evaluar la calidad del suelo a través de parámetros mensurables (indicadores).

Los indicadores biológicos son una herramienta que permite realizar un diagnóstico de los sistemas agropecuarios. Los posibles bioindicadores de calidad del suelo pueden incluir, desde organismos individuales a comunidades y procesos biológicos (Curry y Good, 1992; Koelher, 1992, en Mondino, 2001). Para evaluar la calidad de suelo (Stork y Eggelton, 1992, en Constantini, 2000) proponen usar la diversidad como línea fundamental. La diversidad es la riqueza de especies de una comunidad particular, entendiendo como comunidad a un grupo de individuos de distintas especies que conviven en el tiempo y espacio.

La diversidad puede medirse a través de: 1) Métodos basados en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica); 2) Métodos basados en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (abundancia relativa de los individuos), (Moreno, 2001). Estos métodos se basan en el cálculo de distintos Índices de Diversidad, los cuales pueden ser aplicados a varios niveles taxonómicos como géneros, familias y a grupos tróficos o grupos de alimentación.

### **EL ROL DE LOS NEMATODOS EN LA SALUD DEL SUELO Y SU USO COMO INDICADORES BIOLÓGICOS**

Los nematodos son gusanos cilíndricos alargados, no segmentados, con un rango de longitud entre 0.2mm a 8m. Forman parte de la microfauna del suelo y se encuentran presentes en todo tipo de hábitats: agua dulce y salada, parásitos de plantas, animales y el hombre. También están presentes en corrientes cálidas, hielos y en las profundidades de los océanos (Doucet y Agüera de Doucet, 1996). La temperatura, humedad y aireación del suelo afectan la supervivencia y movimiento de estos invertebrados.

En los nematodos terrestres se pueden diferenciar diversos grupos funcionales o grupos de alimentación (Yeates *et al.*, 1993a, en Mondino, 2001). Generalmente se dividen entre cinco y siete categorías de grupos tróficos, compuestas por fitófagos, fungívoros, bacteriófagos, omnívoros y predadores.

- **Fitófagos:** están armados de un estilete perforador con el que absorben el contenido de las células de las plantas. Se alimentan de la raíz, tallo, hoja y semilla. Como parásitos de plantas, representan un grupo perjudicial desde el punto de vista agronómico.

- **Fungívoros:** poseen estilete más o menos desarrollado, se alimentan del micelio de los hongos.

- **Bacteriófagos:** presentan estoma (cavidad bucal) cilíndrico, sin dientes o estilete. Se alimentan de bacterias.

- **Omnívoros:** presentan diente o estilete, se alimentan tanto de material vegetal como animal.

- **Predadores:** presentan estoma grande con dientes y dientecillos o estilete. Se alimentan de otros nematodos y pequeños habitantes del suelo.

Los bacteriófagos al igual que los fungívoros cumplen un rol importante indirecto en la descomposición de la materia orgánica y en el reciclaje de los

nutrientes del suelo, a través de la actividad alimenticia y excretora, disponiendo los nutrientes para el crecimiento de las plantas. Por tal motivo como son una medida indirecta pero específica de la presencia y abundancia de bacterias nos permiten conocer el grado de alteración o reconstrucción de las cadenas alimentarias que en el suelo se producen, pudiendo comparar valores de suelos no alterados o alterados con algún contaminante (Otero *et al.*, 2002).

En los sistemas de producción de cultivos los omnívoros-predadores tienen un rol importante sobre la red trófica, por controlar la composición de la microfauna del suelo (López-Fando y Bello, 1995). Además, se estimó bajo condiciones de campo que la contribución (directa e indirecta) de bacteriófagos y predadores en la mineralización del nitrógeno es entre el 8 y 19 %, en sistemas agrícolas convencionales (Beare, 1997, en Neher, 2001).

Los nematodos del suelo presentan varias características que los hacen buenos bioindicadores de los estados y procesos del ecosistema (Porazinska *et al.*, 1999), son relativamente abundantes en todos los ambientes y poseen diversidad de estrategias de vida y hábitos alimenticios (Freckman, 1988; Yeates *et al.*, 1993a, en Porazinska *et al.*, 1999).

La estructura y función de las redes de grupos alimenticios de los organismos del suelo son interrumpidas por hidrocarburos, metales pesados contaminantes, minerales fertilizantes y pesticidas y por disturbios físicos. Sin embargo, los resultados de tales interrupciones son imprevisibles, debido a esto, los nematodos ocupan una posición clave como consumidores primarios e intermedios en la red alimenticia del suelo. La evaluación e interpretación de la abundancia y función de la estructura de la comunidad de la nematofauna ofrece un análisis *in situ* de los factores de interrupción (Bongers y Ferris, 1999).

En suelos agrícolas, la mayor diversidad de grupos tróficos está relacionada con el incremento en la frecuencia de grupos generalmente poco abundantes (fungívoros, omnívoros y predadores), relativo a aquellos que son generalmente más abundantes (bacteriófagos y fitófagos) (Wasilewska, 1979, en Neher, 2001).

En nuestro país, los nematodos terrestres han sido estudiados en el sudeste bonaerense bajo distintas condiciones de cultivo (Chaves, 1987; Chaves y Torres, 1993; Chaves y Torres, 1996), aportando datos sobre la abundancia y diversidad de los mismos en suelos cultivados y no cultivados (Mondino, 2001). Se incorpora más recientemente el estudio de la nematofauna en distintos sistemas de cultivo y condiciones de fertilización (Mondino, 2001), destacando la importancia de ésta como indicadora de la calidad de suelo.

En la Pcia. de Córdoba, se han realizado estudios de abundancia y diversidad en diferentes localidades, resultando una marcada diversidad de nematodos en ambientes terrestres y acuáticos con 120 especies pertenecientes a 73 géneros (Doucet y Agüera de Doucet, 1996). No obstante, no existen aportes de la nematofauna como indicadora, es por ello que se considera de interés el estudio de la misma.

## II. OBJETIVOS

Evaluar el efecto de los Sistemas de Labranza (Convencional, Reducida y Siembra Directa) y dos condiciones de fertilización, sobre la composición de la nematofauna como indicadora del nivel de calidad del suelo, a través de la determinación de la diversidad de grupos tróficos de nematodos en dos estaciones del año.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en el ensayo Trigo/Soja (Marelli, H.; Arce, J.) de la EEA INTA Marcos Juárez, durante invierno y primavera de 2004. La estación experimental se encuentra ubicada a 32° 41' de latitud Sur y a 62° 7' longitud Oeste sobre suelos Argiudoles típicos del área, con un 3.26% de materia orgánica, 1.9% de carbono orgánico y un 0.18% de nitrógeno total (Carta de suelos de la Rep. Arg., 1978).

Con respecto al clima, el área de estudio se encuentra ubicada en el Dominio subhúmedo, dentro de la isoterma media de 17.3°C. El régimen hídrico presenta una deficiencia entre los meses de mayo y fines de agosto; a partir del mes de septiembre se registran las mayores precipitaciones, con valores superiores a 800mm (Arce y Díaz, 1996).

El ensayo Trigo/Soja fue iniciado por el Ing. Hugo Marelli en 1975. Presenta un diseño en parcelas divididas, con tres repeticiones divididas en seis tratamientos diferentes que combinan tres sistemas de labranza. Cada parcela se divide en sub parcelas fertilizadas (sólo para trigo: 150kg de nitrógeno, 21kg de fósforo y 23kg de azufre por hectárea) y sin fertilizar. Para invierno se estudiaron las tres repeticiones, en primavera dos repeticiones.

-TRATAMIENTO B: Soja Convencional/Trigo Labranza Reducida, sin quema del rastrojo de trigo, con media parcela fertilizada y media sin fertilizar.

-TRATAMIENTO C: Soja Siembra Directa/Trigo Labranza Reducida, con media parcela fertilizada y media sin fertilizar.

-TRATAMIENTO F: Soja/Trigo en Siembra Directa Continua, con media parcela fertilizada y media sin fertilizar.

Se recolectaron un total de 18 muestras en invierno de las repeticiones I, II y III y 12 en primavera de las repeticiones I y II.

## RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Las muestras de suelo fueron tomadas con barreno de 5cm<sup>2</sup> de área a 20cm de profundidad, posteriormente se colocaron en bolsas de polietileno y se conservaron a 4°C hasta el momento de su procesamiento. Conjuntamente con la toma de muestras, se recolectaron muestras de suelo para el cálculo del porcentaje de humedad de 0 a 20cm y se obtuvo la temperatura de suelo a la misma profundidad.

En laboratorio cada muestra fue pesada. Para la separación de los nematodos se utilizó la técnica de Flotación-Centrifugación (Caveness y Jensen, 1955, en Doucet 1980). Para las muestras de invierno se aislaron 100cm<sup>3</sup> por medio de la técnica de Gooris y D'Herde 1972, (en Mondino 2001) y se tamizaron. Para las muestras de primavera se procesó por el tamiz todo lo recolectado. Luego se colocan a 4°C hasta su observación y análisis bajo microscopio óptico, donde se procederá a la determinación de los grupos tróficos y al recuento de individuos por grupo y totales. Por último, las muestras son fijadas con F.A. 4/1 (Seinhorts, 1962, en Doucet, 1980) y guardadas a temperatura ambiente.

## ANÁLISIS

Se observaron en cámara Mac Master un total de 2ml para el recuento total por grupo de nematodos bajo microscopio óptico (10x). Luego se estimó la abundancia de cada grupo en 100cm<sup>3</sup> de suelo. La clasificación de los distintos grupos tróficos se realizó bajo microscopio óptico 40x, (de acuerdo a Yeates *et al.*, 1993a, en Mondino, 2001); a la vez que se siguieron las descripciones de Chávez *et al.* (1993).

Para la determinación de la diversidad de grupos tróficos de nematodos, se calcularon los Índices de Diversidad teniendo en cuenta los valores de abundancia de cada grupo en 100ml de suelo.

Índices de Diversidad estudiados:

- a) - Margalef (1958): **Índice de riqueza específica**
- b) - Simpson (1942): **Índice de dominancia**

c) - Shanon-Wiener ( $H'$ ) (1949) y Pielou (1977):  
**Índices de diversidad y equidad**

**a) - Índice de riqueza específica (S)**

Representa el número total de especies en una comunidad, uno de los más conocidos es el

Índice de Margalef:  $R1 = S - 1 / \ln N$

donde: **S** = número de especies  
**N** = número total de individuos

**b) - Índices de dominancia**

Los índices basados en la dominancia son inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad, uno de ellos es el

Índice de Simpson:  $\lambda = \sum p_i^2$

donde:  $p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Magurran, 1988; Peet, 1974; en Moreno, 2001). Sus valores varían entre 0 y 1, si  $\lambda$  es alto, entonces la diversidad de la comunidad muestreada es baja.

**c) - Índices de diversidad y equidad**

Algunos de los índices más reconocidos sobre diversidad se basan principalmente en el concepto de equidad, por lo que se describen:

Índice de Shannon-Wiener:  $H' = - \sum p_i \ln p_i$

Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra, (Moreno, 2001). Mide el grado promedio de incerti-

dumbre en la predicción de a cual especie pertenecerá un individuo tomado al azar de una colección de S especies y N individuos. Un valor de  $H' = 0$  indica que hay sólo una especie en la muestra y  $H'$  es máximo sólo cuando todas las S especies están representadas por el mismo número de individuos.

Equidad de Pielou:  $E1 = H' / \ln S$

donde:  $H'_{max} = \ln(S)$ .

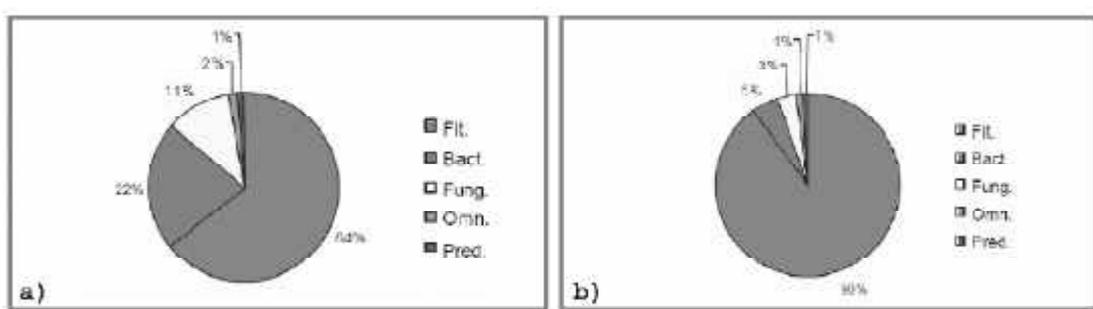
Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Moreno, 2001). Un valor de 0 significa que las especies no son equitativamente abundantes, valores superiores corresponden a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes.

Para el análisis estadístico de los resultados, los valores de abundancia fueron previamente normalizados, mediante la transformación  $\log(x+1)$ . Se aplicó el Método Univariado de ANOVA del paquete estadístico (SAS institute, 1988 GML Procedure) para los distintos grupos tróficos de nematodos y los índices de diversidad. Cuando las diferencias entre las estaciones, los tratamientos, la fertilización e interacciones fueron significativas se compararon las medias aplicando el Test F de ANOVA con un nivel de significación del 5%.

**IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**GRUPOS TRÓFICOS DE NEMATODOS DEL SUELO**

Se observaron un total de 4769 nematodos en invierno y 5370 en primavera, esta diferencia en abundancia se debe al aumento en el porcentaje de fitófagos (90%) durante la última estación. La distribución de los grupos tróficos en el sitio estudiado, muestra un mayor porcentaje de fitófagos en relación con los restantes grupos, en las dos estaciones: 64% en invierno y 90% en primavera (**Figura 1.25**).



**Figura 1.25.** Distribución porcentual de la densidad media de grupos tróficos de nematodos a) invierno b) primavera, en el ensayo trigo/soja 2004.

## EFFECTO DE LAS ESTACIONES, TRATAMIENTOS Y FERTILIZACIÓN SOBRE LA ABUNDANCIA DE LOS GRUPOS TRÓFICOS

Las estaciones afectaron muy significativamente a los bacteriófagos y fungívoros; en invierno ambos grupos presentaron la mayor densidad (**Cuadro 1.26**); lo cual coincide con lo reportado por Mondino (2001), para los bacteriófagos. El género *Rhabditis* (bacteriófago) observado en este

estudio, incrementa su población en suelos húmedos y fríos (Sohlenius, 1985, en Mondino, 2001).

La Labranza Reducida en trigo y Convencional en soja (Tratamiento B) presentó la mayor densidad de fungívoros, con respecto al Tratamiento F (Siembra Directa en trigo y soja), (**Cuadro 1.26**). Este incremento está relacionado con un aumento en la población de hongos, gracias al mayor contacto entre el suelo y los residuos. La fertilización no afectó a la abundancia de los distintos grupos tróficos.

**Cuadro 1.26.** Resultados del análisis univariado (Test. F ANOVA) y medias de abundancia para los distintos grupos tróficos de nematodos, en el ensayo trigo/soja, 2004.

	Grupos Tróficos	Fitófagos	Bacteriófagos	Fungívoros	Omnívoros	Predadores
ANOVA	Estación	NS	0.0030**	0.0045**	NS	NS
	Tratamiento	NS	NS	0.0159*	NS	NS
	Fertilización	NS	NS	NS	NS	NS
Log n Media/ Estación	Invierno	5.02	3.83 a	3.23 a	1.22	1.12
	Primavera	5.48	2.39 b	2.32 b	1.26	1.20
Log n Media/ Tratamiento	B	5.65	3.63	3.28 a	1.75	0.76
	C	5.11	3.21	2.86 ab	0.66	1.56
	F	4.99	2.49	2.19 b	1.31	1.15
Log n Media/ Fertilización	Fertilizado	5.52	3.17	2.71	1.19	1.02
	Sin Fertilizar	4.99	3.06	2.84	1.30	1.31

REF: NS: No significativo; \* Significativo ( $p < 0.05$ ); \*\* Muy significativo ( $p < 0.01$ ). Los promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente. Tratamientos: B (LR Trigo/LC Soja); C (LR Trigo/ SD Soja); F (SD Trigo y Soja).

## EFFECTO DE LAS ESTACIONES, TRATAMIENTOS Y FERTILIZACIÓN SOBRE LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD

Las estaciones y la fertilización afectaron muy significativamente a los distintos índices excepto a Margalef (estación) y Simpsons que fue afectado significativamente por la fertilización (**Cuadro 1.27**).

Durante la primavera, en contraste con el invierno, los índices de Shannon y Pielou (diversidad y

equitatividad), presentaron los menores valores. Por otra parte, el índice de dominancia (Simpsons) registró el mayor valor (**Cuadro 1.26**). Estos resultados se deben a la gran densidad de fitófagos encontrados durante la primavera, como grupo dominante (**Figura 1.25**), probablemente por los cambios en las condiciones ambientales.

**Cuadro 1.27.** Resultados del análisis univariado (Test F ANOVA) y medias para los Índices de Diversidad, en el ensayo trigo/soja, 2004.

	Grupos Tróficos	Shannon Wiener (H')	Pielou (J')	Margalef (S)	Simpsons (D)
ANOVA	Estación	<0.0001**	<0.0001**	(NS)	<0.0001**
	Tratamiento	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)
	Fertilización	0.0069**	0.0069**	0.0072**	0.0169*
Media/ Estación	Invierno	0.91 a	0.57 a	0.61	0.51 b
	Primavera	0.41 b	0.25 b	0.61	0.82 a
Media/ Tratamiento	B	0.69	0.43	0.57	0.63
	C	0.69	0.43	0.58	0.64
	F	0.60	0.38	0.68	0.72
Media/ Fertilización	Fertilizado	0.56 b	0.35 b	0.53 b	0.71 a
	Sin Fertilizar	0.76 a	0.47 a	0.68 a	0.61 b

REF: NS: No significativo; \* Significativo ( $p < 0.05$ ); \*\* Muy significativo ( $p < 0.01$ ). Fertilización: F (con fertilizante), N/F (sin fertilizante).

Las parcelas no fertilizadas presentaron valores de diversidad, equitatividad (Shannon y Pielou) y riqueza (Margalef) superiores a las fertilizadas y el menor valor de dominancia (Simpsons) (**Cuadro 1.26**); ya que las condiciones ambientales en estas se asemejan a las encontradas en suelos inalterados (sin fertilizantes).

Los tres tratamientos evaluados poseen valores de diversidad (Shannon) similares; B y C registraron mayor equitatividad (Pielou) y menor valor de dominancia (Simpsons) con respecto al F; el cual muestra el mayor valor de riqueza (Margalef); no obstante, estas diferencias no son estadísticamente significativas (**Cuadro 1.26**).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se considera necesaria la proyección en las determinaciones del indicador biológico "Diversidad de Grupos Tróficos de Nematodos". Las técnicas empleadas pueden no estar del todo a punto, puede ser que aún no este estandarizado el muestreo y se necesite mayor cantidad de muestras para encontrar diferencias entre tratamientos. Además es aconsejable y necesario el muestreo anual, con el estudio en todas las estaciones para observar el comportamiento de la comunidad de nematodos luego de las perturbaciones provocadas los cambios estacionales y por el laboreo. Un estudio de las poblaciones por estrato de suelo puede llevar a encontrar diferencias entre tratamientos.

## V. CONCLUSIONES

- Los resultados muestran que en todas las condiciones evaluadas la estructura trófica estuvo dominada por nematodos fitófagos.
- En primavera se encontró la mayor abundancia de grupos tróficos.
- En invierno se registró la mayor diversidad de grupos.
- La fertilización produce efectos negativos sobre la diversidad.
- Los tratamientos afectaron sólo la abundancia de nematodos fungívoros, cuya densidad fue superior en LR que en SD.
- No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para los distintos Índices de Diversidad.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCE, E. y DÍAZ, R. 1996. *El clima de Marcos Juárez*. Valores medios y absolutos registrados en el período 1967-1994. Información para extensión N° 30. INTA EEA Marcos Juárez.
- BONGERS, T. and FERRIS, H. 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Tree* vol. 14, N° 6. pp.222-229.
- CARTA DE SUELOS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. 1978. Hoja 3363-17 Marcos Juárez. INTA. Centro de Investigación de Recursos Naturales.
- CHAVES, E.J.; ECHEVERRÍA, M.M. y TORRES, M.S. 1993. *Clave para Determinar Géneros de Nematodos del Suelo de la República Argentina*. INTA Balcarce y Facultad de Cs. Agrarias. Univ. Nac. Mar del Plata. 91p.
- COSTANTINI, A. 2000. *Organismos del Suelo*. In: Conti, M. (Ed.). Principios de Edafología. 2da. Edi. 89101. Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- DOUCET, M.E. 1980. *Técnicas Básicas en Nematología del Suelo*. IDIA-Marzo-Abril 1980. pp.34-43.
- DOUCET, M.E. y AGÜERA, M.M. 1996. *Nematodos de suelo y agua dulce de la provincia de Córdoba*. In: Biodiversidad de la Provincia de Córdoba. Volumen I. Fauna.
- DI TADA, I.E. y BUCHER, E.H. (Eds.). Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. 378p.
- LÓPEZ-FANDO, C. and BELLO, A. 1995. *Variability in soil nematode populations due to tillage and crop rotation in semi-arid Mediterranean agrosystems*. *Soil & Tillage Research*, 36: 59-72.
- MONDINO, E.A. 2001. *Efecto de las Rotaciones, las Labranzas y la Fertilización Nitrogenada sobre la Nematofauna del Suelo*. Tesis de Magíster en Producción Vegetal. Univ. Nac. Mar del Plata. 66p.
- MORENO, C.E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad M&T SEA*, vol. 1, Coedición: SEA, CYTED & ORCYT-UNESCO Montevideo. 84p.
- NEHER, D.A. 2001. *Role of Nematodes in Soil Health and Their Use as Indicators*. *Journal of Nematologists* 33(4): 161-168.

OTERO, M.C.; TORRES, N.; PLAZA, G. y PÉREZ, C. 2002. *Nematodos bacteriófagos como bioindicadores y como organismos asociados a los procesos de biorremediación*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 6, N° 1. Argentina.

PORAZINSKA, D.L.; DUNCAN, L.W.; Mc SORLEY, R. and GRAHAM, J.H. 1999. *Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem by agricultural management practices*. Appl. Soil Ecol., 13: 69-86.

RIBEIRO DA SILVA, E.M. y SAGGIN-JÚNIOR, O.J. 2004. *Estrategias biológicas para la recuperación de áreas degradadas*. In: Monzón de Asconegui, M.A.; García de Salomone, I.E.; Miyazaki, S.S. (Eds.). *Biología del Suelo*. 1ra. Edi. Sesión II: 13-16. Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.



# MEJORAMIENTO DE LA FORMACIÓN DE MICORRIZAS NATIVAS Y EL CRECIMIENTO DE LA SOJA EN SUCESIÓN A CULTIVOS MICORRÍZICOS PREVIOS EN SIEMBRA DIRECTA

por **Victoriano Barboza Sosa**  
**Centro Regional de Investigación Agrícola,**  
**Ministerio de Agricultura y Ganadería**  
**Paraguay**

## I. INTRODUCCIÓN

En los suelos de la Región Oriental del Paraguay, existe una limitante muy importante que es la alta capacidad de adsorción (fuerte adherencia al suelo) de fósforo y la baja disponibilidad natural de este nutriente (por debajo de 5ppm, P Bray II), que incide notablemente sobre la producción agrícola; de tal modo que se requieren de cantidades relativamente elevadas de fertilizantes fosfatados para la buena obtención de productos de cosecha. Para paliar este inconveniente y tratando de reducir los costos de producción de la soja, principalmente en la búsqueda de maximizar la eficiencia del fósforo aplicado y del no disponible para las plantas, se ha logrado introducir y avanzar en la técnica de un nuevo campo de estudio relacionado a este fin.

Las plantas disponen de aliados naturales poco conocidos y poco explotados. Se trata de la micorriza, asociación simbiótica que las raíces de la mayoría de las plantas establecen de forma natural, con determinados hongos beneficiosos del sue-

lo. Barea *et al.* (1999), ha comprobado que las micorizas desempeñan un papel crucial en la vida de las plantas, ayudándole a superar situaciones de estrés, sobre todo en suelos degradados por laboreo excesivo, contaminación, sequía, deficiencias en nutrientes, etc. Esta asociación sería una forma natural de atenuar el problema de la baja fertilidad de los suelos; pero, es muy oportuno aclarar que la micorriza no sustituye a la fertilización fosfatada, solo aumenta considerablemente la eficiencia de utilización del fósforo que está presente en el suelo o adicionado a él. Según Haymann; Johnson y Ruddlesdin (1975); Kruckelmann (1975); Strzemska (1975), citado por Ocampos y Haymann (1981), la población de micorriza vesicular-arbuscular (MVA) varía con diferente régimen de cultivo en un mismo suelo. El hongo generalmente se desarrolla mejor alrededor de aquellas especies de plantas que son más susceptibles a la infección de micorizas (Haymann, 1978, citado por Ocampos y Haymann 1981). En rotaciones de cultivos que incluyen plantas

no micorrízicas o plantas que desarrollan un poco de micorriza, la infección puede ser menor que en aquellos cultivos que poseen una fuerte infección de micorrizas. Sin embargo, en observaciones de campo estos datos no son muy consistentes según Ocampos *et al.* (1981).

Por todo lo expuesto precedentemente, el objetivo de este trabajo fue la necesidad de establecer si existe una relación directa entre el mejoramiento de la población de micorrizas y el crecimiento de la soja como consecuencia del efecto de los cultivos previos considerados micotróficos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue conducido y evaluado en los años 1999/2000; 2000/2001; 2001/2002, en la Región Sur de Paraguay, en el Centro Regional de Investigación Agrícola de Capitán Miranda (CRIA), en un suelo Oxisol, derivado del basalto (Gorostiaga *et al.*, 1995) con predominio de la arcilla y buen drenaje. El contenido de fósforo inicial fue de 12.6ppm P Bray II. Las parcelas principales fueron ocupadas por dos niveles de fertilización fosfatada y las sub-parcelas por los cultivos de cobertura de invierno tales como girasol, avena negra, trigo, maíz, nabo forrajero y un barbecho como testigo absoluto. La fertilización de las parcelas principales se realizaron a un nivel de 70-90-30kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente; y, para las no fosfatadas a un nivel de 70-00-30kg/ha. El nitrógeno fue distribuido 1/6 con la fertilización básica y el resto en cobertura. Las plantas en plena floración fueron cortadas y dejadas en la superficie. La variedad de soja sembrada fue la Uniala, en ella no se realizaron fertilizaciones básicas ni de cobertura.

Las muestras de campo para los análisis de rigor se realizaron en plena floración, con un intervalo de 30 días aproximadamente; es decir, fueron tomándose a los 30, 60 y 90 días después de la emergencia (DDE) de la soja. Previo al experimento en sí, se realizó un análisis preliminar, basado en la metodología que fue aplicada en el estudio.

En cada muestreo fueron determinadas: la materia seca por planta (hoja, tallo, raíz), la clarificación y el teñido del sistema de raíz, que se realizó y examinó sólo en aquellas más claras y adheridas al sistema principal. La totalidad del sistema de raíz de las plantas fueron clarificados en KOH (hidróxido de potasio) y teñido con azul de trypan en lactoglicerol (Phillips y Hayman, 1970; citado por Barboza, 2000). Se realizó además, el aislamiento y cuantificación de esporas por gramo de suelo, según el método de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963; citado por Barboza, 2000).

La infección de micorrizas fue hecha por el método de campos colonizados o no colonizados, que muestra la tendencia de la colonización en porcentajes. Por este método, se colocaron pequeños trocitos de raíces teñidos en porta objetos y se observaron en el microscopio. Se recorrió todo el porta objetos a distintas alturas y se contaron los campos colonizados y los campos totales observados, un mínimo de 100. El porcentaje de colonización es determinado por la siguiente fórmula:

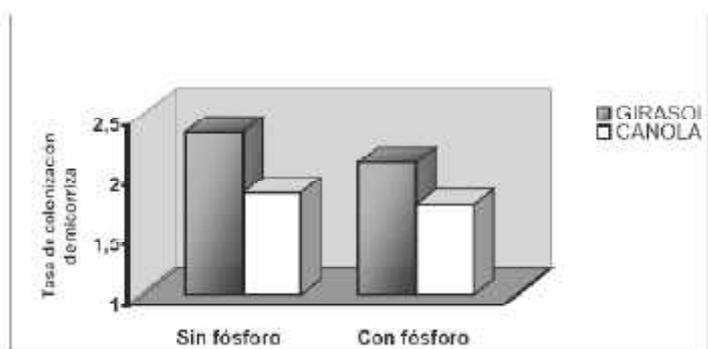
$$\% \text{ CMI} = (\text{N}^\circ \text{ campos micorrizados} / \text{n}^\circ \text{ total de campos observados}) \times 100.$$

$$\% \text{ CMI} = \text{porcentaje de colonización de micorriza}$$

Las cosechas se realizaron al completarse el ciclo del cultivo (generalmente en el mes de abril) con una cosechadora experimental. En base a los granos cosechados, se logró determinar finalmente el rendimiento por parcela y el peso de 100 granos.

## III. RESULTADOS

Como una introducción previa al experimento, se realizó un análisis preliminar que consistió en la comparación de dos tratamientos bien específicos: girasol vs. canola, con y sin adición de fertilizantes fosforados y su efecto en el crecimiento de la soja posterior. En la **Figura 1.26**, se presentan los resultados de dicha comparación en la cual se aprecia claramente el efecto micotrófico (mayor tasa de colonización de micorriza) del girasol en el cultivo de la soja, comparado con la canola, un cultivo considerado no hospedero del hongo vesicular arbuscular (VA).



**Figura 1.26** Efecto de girasol y canola sobre la colonización de MVA en el cultivo de la soja. Método semi cuantitativo. Ciclo 1998-1999.

En la **Figura 1.27**, se observa que en ambas parcelas (con y sin fósforo), la tendencia de la colonización de micorriza nativa, va de menor a mayor, según los estadios de desarrollo del cultivo hasta alcanzar un nivel máximo en que todos se igualaron, incluso en el testigo absoluto (barbecho). Se aprecia además, que la mayor brecha está entre los 30 y 60 DDE. A los 90 días prácticamente todos los tratamientos se igualaron. También se puede deducir que

no existen respuestas fehacientes del uso de los fertilizantes fosforados (en los cultivos de cobertura de invierno) sobre la colonización de micorriza nativa en la soja posterior; salvo el caso, soja sobre maíz en los estadios de desarrollo de los 30 y 60 DDE que presentó mayor infección. En los demás casos, con y sin fósforo, se observaron pequeñas variaciones en el porcentaje pero no muy claras.

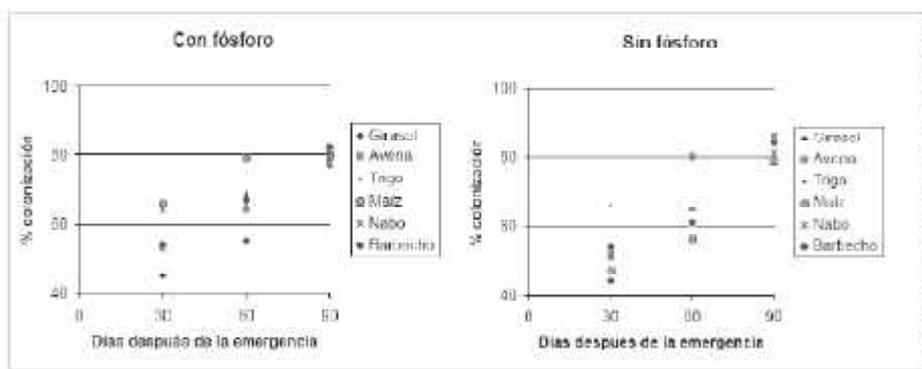


Figura 1.27. Tendencia de colonización de micorriza en soja a los 30, 60 y 90 DDE. Ciclo 1999-2000.

En el **Cuadro 1.28**, haciendo una comparación en el rendimiento de la soja, no se observan diferen-

cias estadísticas significativas entre los tratamientos con y sin adición de fósforo.

Cuadro 1.28. Interacción fósforo-cobertura sobre el rendimiento (kg/ha) de la soja. Ciclo 1999 2000.

Cultivos previos	Con P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (A)	Duncan 0.05	Sin P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (B)	Duncan 0.05	Relación (A)/(B)
Girasol	2.628	A	2.651	A	1.0
Avena	2.690	A	2.552	A	1.1
Trigo	2.677	A	2.384	A	1.1
Maíz	2.459	A	2.343	A	1.0
Nabo	2.631	A	2.481	A	1.1
Barbecho	2.604	A	2.593	A	1.0

DMS=405kg

A continuación, en la **Figura 1.28**, se presentan las tendencias de colonizaciones en el cultivo de la

soja a los 30, 60 y 90 DDE correspondiente al ciclo 2000-2001.

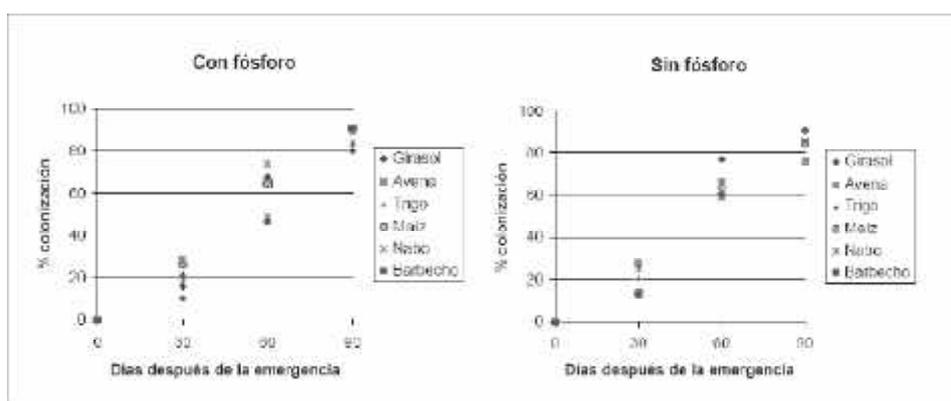


Figura 1.28. Tendencia de colonización de micorriza en soja a los 30, 60 y 90 DDE. Ciclo 2000-2001.

Con referencia a la colonización de micorriza nativa, se observa en la **Figura 1.28** que la soja sobre barbecho fue la que presentó menor infección a los 30 DDE en las parcelas con y sin fósforo. También se puede apreciar que el girasol tampoco tiene una respuesta positiva a la utilización de fósforo. Todo lo contrario sucede con el maíz, que sigue respondiendo bien a la fertilización, así como en el primer año de estudio. A 60 DDE se observa que existe mayor efectividad sin utilización de fósforo en girasol. Por lo demás, las respuestas son mejores con el uso de fósforo. De todo lo expuesto, se

puede deducir que la tendencia de colonización de micorriza nativa es la misma comparado al año anterior; que igualmente la diferencia está entre los 30 y 60 DDE, y que finalmente todos se equiparan a los 90 días.

En el estudio de cuantificación de esporas en la soja a los 30 y 60 DDE sea para tratamientos con y sin fósforo, no hubo diferencias significativas pero si se pudo observar un ligero aumento a los 60 DDE (**Cuadro 1.29**).

**Cuadro 1.29.** Cantidad de esporas por gramo de suelo en el cultivo de la soja, a los 30 y 60 DDE. Ciclo 2000-2001.

Cultivos previos	Cantidad de esporas por gramos de suelo			
	30 DDE		60 DDE	
	Con P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sin P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Con P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sin P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Girasol</b>	39	37	47	47
<b>Avena</b>	45	43	50	45
<b>Trigo</b>	42	45	50	51
<b>Maíz</b>	36	40	38	48
<b>Nabo</b>	43	41	43	51
<b>Barbecho</b>	49	45	48	47

En el **Cuadro 1.30**, se presentan los datos de rendimiento del ciclo 2000-2001, los cuales según el análisis

de varianza, no demuestran diferencias estadísticamente significativas entre sí (Duncan al 5%).

**Cuadro 1.30.** Interacción fósforo-cobertura sobre el rendimiento de la soja. Ciclo 2000-2001.

Cultivos previos	Con P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (A)	Duncan 0.05	Sin P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (B)	Duncan 0.05
<b>Girasol</b>	3.710	AB	4.048	AB
<b>Avena</b>	3.808	AB	3.685	AB
<b>Trigo</b>	4.094	AB	3.742	AB
<b>Maíz</b>	3.587	B	3.913	AB
<b>Nabo</b>	4.018	AB	4.169	A
<b>Barbecho</b>	3.736	AB	4.154	AB

DMS=491kg/ha

En el **Cuadro 1.31**, se observa que la soja posterior al barbecho exhibió menor tendencia de colonización de micorrizas a los 30 y 60 DDE en ambos tratamientos (con y sin fósforo) en comparación con el girasol, maíz, trigo y avena. De la misma mane-

ra, la soja posterior al nabo forrajero demostró bajo porcentaje de infección a los 60 DDE para ambos. Finalmente, se aprecia que la soja que procede al girasol sin fósforo es la que ejerce mayor porcentaje de colonización a los 60 DDE.

**Cuadro 1.31.** Colonización de micorrizas en raíz de soja según cultivos de coberturas previas. Ciclo 2000-2001.

Cultivos previos	Con P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Sin P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
	30 DDE	60 DDE	30 DDE	60 DDE
<b>Girasol</b>	16	68	27	77
<b>Avena</b>	29	74	28	67
<b>Trigo</b>	22	75	21	63
<b>Maíz</b>	26	65	14	64
<b>Nabo</b>	20	49	25	59
<b>Barbecho</b>	10	47	13	60

En el **Cuadro 1.32** se observa que la aplicación previa de fósforo no se traduce en mayores rendimientos comparado a los tratamientos que no recibieron dicha aplicación. En cambio, se aprecia un incremento en el peso de 100 semillas. Estos da-

tos hacen presumir que para los niveles de fósforo presentes en el suelo (20ppm), aparentemente no existen respuestas en la soja que proceden de cultivos de coberturas previamente fertilizados.

**Cuadro 1.32.** Promedios de rendimientos de soja, peso de 100 semillas según los contenidos de fósforos presentes en el suelo. Ciclo 2001-2002.

Tratamientos previos	Rendimientos promedios ( kg/ha)	Peso de 100 semillas (gramos)	Nivel de fósforo del suelo (ppm)
Con fósforo	3.826	12.7	40
Sin fósforo	3.952	14.4	20

DMS=491kg/ha

En el **Cuadro 1.33**, se puede observar que desde el punto de vista de la infección de MVA nativa en los tratamientos sin adición de fertilizante con fósforo, fue mayor en la soja cultivada sobre girasol, sea éste en las parcelas que en los dos últimos años fueron

sembrados con girasol o bien como barbecho. Igualmente en el mismo cuadro se puede notar, que la cuantificación de esporas por gramo de suelo fueron ligeramente mayores en donde previamente hubo cultivos de girasol.

**Cuadro 1.33.** Infección de micorrizas y cantidad de esporas en el cultivo de la soja, a los 60 días después de la emergencia. Ciclo 2001-2002.

Cultivos previos	60 DDE % colonización en soja	60 DDE cantidad esporas/gr de suelo
Girasol-Girasol	56	29
Girasol-Barbecho	22	20
Barbecho-Barbecho	35	24
Barbecho-Girasol	68	25

En el **Cuadro 1.34**, se observa que el rendimiento de materia seca (gramos por planta) de la parte aérea (tallo, hojas) y raíz fueron mayores en barbecho donde previamente hubo girasol en los últimos dos años. También se puede notar, que en el cultivo de soja entre los dos tratamientos en estu-

dio, la altura de la planta fue mayor en las parcelas sin girasol en el último ciclo. Por último, el rendimiento de la soja en las parcelas con girasol en el último ciclo fue superior comparado a las parcelas en barbecho.

**Cuadro 1.34.** Altura, materia seca y rendimiento de la soja en parcelas sin adición de fósforo. Ciclo 2001-2002.

Cultivos previos	Altura cm	Sin P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Rendimiento kg/ha
		Materia seca (g/planta)		
		Parte aérea	Raíz	
Girasol-Girasol	35	4	0.9	1568
Girasol-Barbecho	46	10	1.8	786
Barbecho-Barbecho	42	6	1.2	865
Barbecho-Girasol	36	6	1.2	1117

DMS=491kg/ha.

#### IV. DISCUSIÓN

En el último año, las muestras para los análisis pertinentes, a los efectos de una mejor conclusión del experimento, se centraron exclusivamente a los 60 DDE. Esto fue debido a que las diferencias en plantas de soja desarrolladas sobre, cultivos hospederos previos, sobre cultivos considerados no hospederos (nabo forrajero) y sobre el barbecho, sólo se observaron en el tiempo que abarcaron los 30 y 60 DDE, no así a los 90 DDE en que todos los tratamientos fueron similares. Como no se observaron diferencias significativas en los resultados de los dos primeros años de estudio, sea con y sin adición de fósforo, un cambio en el manejo permitió diferenciar los resultados del último año de estudio, al comparar sólo dos tratamientos: girasol vs. barbecho. Ambos, sin adición de fósforo.

Estos datos revelaron que el girasol es un cultivo con mayor capacidad de colonizar micorrizas nativas comparado al barbecho (**Cuadro 1.33**), salvo excepciones como en los datos de la altura y el peso de materia seca que fue más compensada para la soja desarrollada sobre el barbecho. Se pudo observar, que la soja desarrollada sobre barbecho (sin cultivo), tuvo al principio menor infección para luego igualarse con el resto cultivado previamente. En muchos casos los datos de campo pueden variar; pero no la función de la micorriza que sigue siendo la misma. Por lo que se haría necesario para la obtención de datos más reales de los efectos directos del barbecho y de plantas no hospedero sobre la infección y propagación del hongo VA en suelo, condiciones de mejor control, como por ejemplo los experimentos desarrollados

en macetas que en el campo (Ocampos; Martín y Hayman, 1980) citado por Ocampos y otros (1981).

A los efectos de evitar el enmascaramiento de los datos de un experimento que tenga como objetivo el estudio de la relación que pueda existir entre cultivos de cobertura y la actividad de las micorrizas en aumentar la capacidad de crecimiento de la soja; sería muy importante que este tipo de estudio se ejecute en un suelo cuyo tenor de fósforo no permita la obtención normal de buenos rendimientos de soja. Es decir debe ser un suelo pobre, degradado, para que el efecto del tratamiento sea determinante en la conclusión final.

#### V. CONCLUSIONES

- En suelos fértiles no se observaron los efectos de la actividad de las micorrizas vesicular-arbuscular (MVA).
- De acuerdo a los resultados del experimento, se determinó que existen cultivos hospederos (micotróficos) de micorrizas tales como; girasol, maíz, avena y trigo.
- Las mayores diferencias en la actividad de las micorrizas nativas en el cultivo de la soja se observan en los estadios de desarrollo de las plantas comprendidas entre los 30 y 60 DDE.

- El cultivo de la soja, después de un cultivo de cobertura de invierno con poca capacidad de infección de micorrizas, coloniza lentamente en los estadios iniciales pero se igualan a los 90 DDE.
- En la raíz de la soja a los 90 DDE, se tiene la máxima actividad de las micorrizas, pero su rendimiento se mantiene estable entre 20 y 40 ppm de fósforo.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOZA, S.V. 2000. *Manual de instrucciones para el aislamiento de esporas de hongos del suelo y el análisis de colonización de la Micorriza Vesicular- Arbuscular (MVA) en raíces de cultivos*. Capitán Miranda, Paraguay: Proyecto MAG-JICA. 8p.
- BAREA, J.M.; PEREZ, S.E.; DEL VAL, C. y AZCÓN, A. C. 1999. *Importancia de las micorrizas en el establecimiento y protección de las plantas en suelos degradados*. Phytoma. La revista profesional de sanidad vegetal. España, N° 111. pp.20-30.
- GOROSTIAGA, O.L. *et al.* 1995. *Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental. Paraguay*.
- OCAMPO, J.A.; MARTÍN, J. and HAYMAN, D.S. 1981. *Influence of plant interactions on vesiculararbuscular mycorrhizal infection. I: Host and non-host plant grown together*. New Phytol. 84: 27-35.
- OCAMPO, J.A. 1981. *Effect of crop rotations involving host and non-host plants on vesiculararbuscular mycorrhizal infection of host plants*. Plant and Soil, 56. Netherland, 1980. pp.283-291.
- OCAMPO, J.A. and HAYMAN, D.S. 1981. *Influence of plant interactions on vesicular-arbuscular mycorrhizal infection II: Crop rotation and residual effects of non-host plants*. New Phytol. 87: 333-43.



## 3 - INDICADORES FÍSICOS

### DEGRADACIÓN – RECUPERACIÓN DE LA CONDICIÓN HIDROFÍSICA DE HAPLUSTOLES/UDOLES DEL SUR CORDOBÉS MANEJADOS CON SIEMBRA DIRECTA

*por Carmen Cholaky;*

*José Manuel Cisnero;*

*M. Uberto;*

*C. Vignolo;*

*O. Giayetto*

**Universidad Nacional de Río Cuarto,  
Argentina**

#### I. INTRODUCCIÓN

La compactación superficial y subsuperficial están presentes en gran parte de los suelos agrícolas de la región centro-sur de Córdoba. Cantero *et al.* (1987), plantean la necesidad de mejorar la condición física de los suelos de 760.000ha en el Dpto. Río Cuarto y Bricchi *et al.* (1991), demostraron que los principales subgrupos de suelos de esta región se encuentran afectados por esta problemática. La manifestación de este deterioro se observa en la desagregación de la estructura superficial, inestabilidad y formación de sellos y en cambios estructurales en la capa arable, indicados por estados masivos resultantes del proceso de compactación subsuperficial (Bricchi *et al.*, 1993). Cisneros *et al.*

(1997), evaluaron propiedades indicadoras de la condición hidrofísica de suelos Haplustoles típicos del área agrícola del sur cordobés y observaron que el uso agrícola continuado alteró significativamente estas variables al compararlas con una situación de no uso.

El modelo productivo actual basado en el aumento del uso agrícola sobre el ganadero y en la predominancia del cultivo de soja sobre el de maíz, cuyos soportes tecnológicos son, entre otros, los cultivos transgénicos y la siembra directa (SD), no ha logrado revertir esta tendencia, observándose como consecuencia incrementos en los procesos

de erosión hídrica (Cisneros *et al.*, 2004), disminución en el rendimiento de los cultivos (Vignolo *et al.*, 2002), e incremento en el uso de insumos y energía para la producción.

Ante esta problemática, se han desarrollado diversos dispositivos de labranza para el aflojamiento del suelo, cuyos principales rasgos de diseño han considerado; la profundidad de labor, el ancho del elemento activo, la presencia de alas y el ángulo de incidencia (Desbiolles *et al.*, 1997). Cisneros *et al.* (1998), adaptaron un subsolador alado denominado "reja cero", originalmente desarrollado para descompactar suelos con afectación hidrohalmórfica sin inversión de la gleba, para el aflojamiento de capas endurecidas en suelos normales. Este dispositivo mostró un adecuado comportamiento en la reducción de la resistencia a la penetración, la densidad aparente (DA) y en el incremento de la infiltración del agua en el suelo.

El equipo de trabajo del área de suelos de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, viene desarrollando trabajos de investigación, con el objeto de evaluar y ajustar alternativas de producción para la región del centro-sur de Córdoba que incluyen labranzas y rotaciones de cultivos.

El objetivo de esta presentación es realizar una contribución con los resultados de estas experiencias en relación a los procesos de deterioro y recuperación de las propiedades hidrofísicas de suelos Haplustoles/udoles del sur de Córdoba, manejados con diferentes sistemas de labranza.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se presentan resultados de experiencias desarrolladas durante un período de 10 años, en suelos representativos del área agrícola del sur cordobés. La zona de estudio abarcó dos situaciones:

1) - Área experimental General Deheza (GD), ubicada a 15km al oeste de la localidad homónima, Departamento Tercero Arriba, provincia de Córdoba, Argentina, a 32° 46' 03" latitud sur y 63° 48' 23" longitud oeste, en donde el suelo es un Hapludol típico franco arenoso muy fino, con 1.18 % de materia orgánica, 15.3% de arcilla, 48.6% de limo y 33% de arena muy fina, valores promedio de los primeros 30cm del perfil. Para el análisis del grado de deterioro de la condición edáfica, se tomó como marco de referencia a una situación de monte natural con mínimo disturbio.

2) - Área experimental General Cabrera (GC), ubicada a 5km al sur de esta ciudad (32° 40' S y 63° 40' W), provincia de Córdoba, con un suelo Haplustol entico, franco arenoso, con 1.05% de materia orgánica, 9.7% de arcilla, 38.5% de limo y 48% de arenas muy finas, en promedio para similar profundidad que en la situación anterior.

Las dos áreas experimentales provenían de una historia de intenso uso agrícola por más de 80 años. En ambos lugares, durante cinco años, se desarrollaron ensayos que incluyeron la labranza y la rotación de cultivos. En el presente trabajo, se mostrarán resultados relacionados a la primera de estas variables. En relación a ello, la SD y el laboreo vertical (LV) o profundo (LP) con mínima remoción de la cobertura superficial, con subsolador alado "reja cero" (Cisneros *et al.*, 1998) (**Figura 1.29**) u otras herramientas similares, fueron algunas de las alternativas de labranza evaluadas.

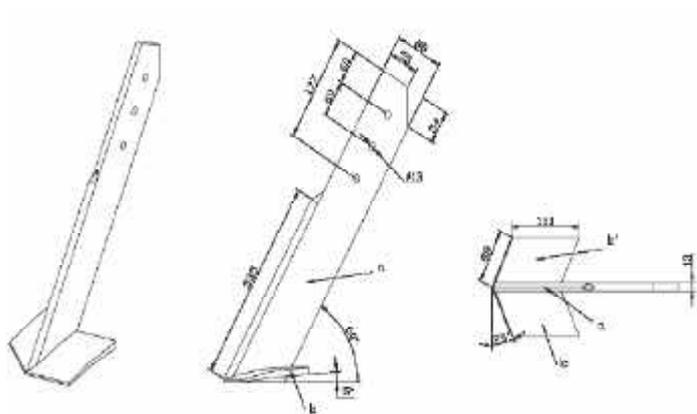


Figura 1.29. Esquema del subsolador alado "reja cero", utilizado en el área experimental General Deheza. Medidas en milímetros.

Las variables evaluadas fueron: i) densidad aparente (DA) por el método del densitómetro de membrana (Blake y Hartge, 1986) y sonda de rayos gamma (Donald *et al.*, 1991); ii) resistencia mecánica (RM) medida mediante un penetrómetro computarizado (Eijkelkamp, 1995), provisto de un cono con área basal de 1cm<sup>2</sup> y ángulo de 30° y con sensibilidad de lectura de 0,01m. En condiciones de suelo seco (elevada resistencia), se utilizó un penetrómetro de impacto, con características de diseño similares a aquel y mediante un software desarrollado especialmente se transformaron los valores obtenidos a un rango de lectura similar al del penetrómetro electrónico. Paralelamente a la medición de RM se midió la humedad gravimétrica del perfil. Se evaluó además velocidad de infiltración (VI) a través del método del doble cilindro (Bower, 1986) y cobertura superficial (CS) a través del método de la Transecta lineal (Laflen *et al.*, 1981).

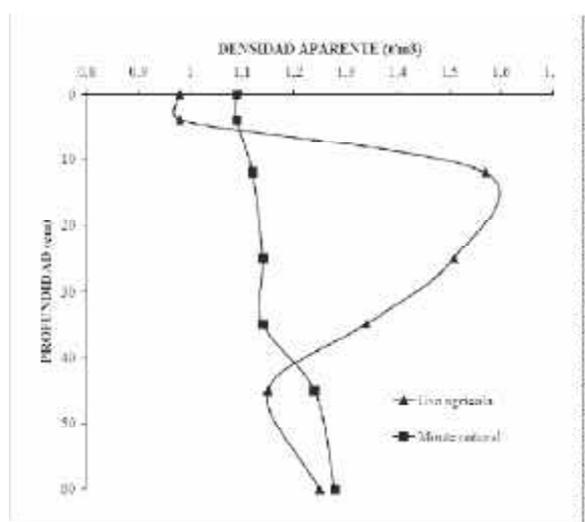
Los resultados que se presentan en este trabajo son parciales al constituir parte de trabajos de investigación que involucraban otros tratamientos y

variables. Las diferencias entre resultados fueron sometidas a un test de comparación de medias con diferente varianza (Snedecor y Cochran, 1977).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### DENSIDAD APARENTE

La evaluación de la DA inicial en el área experimental GD, evidenció un elevado grado de deterioro de la condición estructural del suelo, mostrando un perfil de DA irregular y de elevados valores en los primeros 40cm de profundidad, con respecto a la situación de mínimo disturbio (**Figura 1.30**). Esto contribuiría a sostener que esta variable es marcadamente modificada por la historia de uso y manejo del suelo y por lo tanto, según lo planteado por Shafiq *et al.* (1994), es un indicador sensible del deterioro físico del mismo.



**Figura 1.30.** Perfiles de densidad aparente inicial en dos situaciones de uso del suelo del área experimental General Deheza.

Este proceso de compactación de la estructura se manifestó a través de la presencia de panes antrópicos o inducidos (“pisos de labor”), en donde los valores de densidad aparente se incrementaron significativamente con respecto al suelo bajo monte natural. Los datos indican que el espesor corres-

pondiente al primer piso de labranza (7-15cm) sufrió un incremento en su densidad aparente del 28.6%, mientras que en el segundo piso (20-30cm), el incremento fue del 24.5% con respecto a la situación con mínimo disturbio (**Cuadro 1.35**).

**Cuadro 1.35.** Densidad aparente a la profundidad de los pisos de labranza en el suelo del área experimental General Deheza y monte natural.

Profundidad (cm)	Densidad Aparente (t m <sup>-3</sup> )	
	Área Experimental General Deheza	Monte natural
7-15	1.57 a	1.12 b
20-30	1.51 a	1.14 b

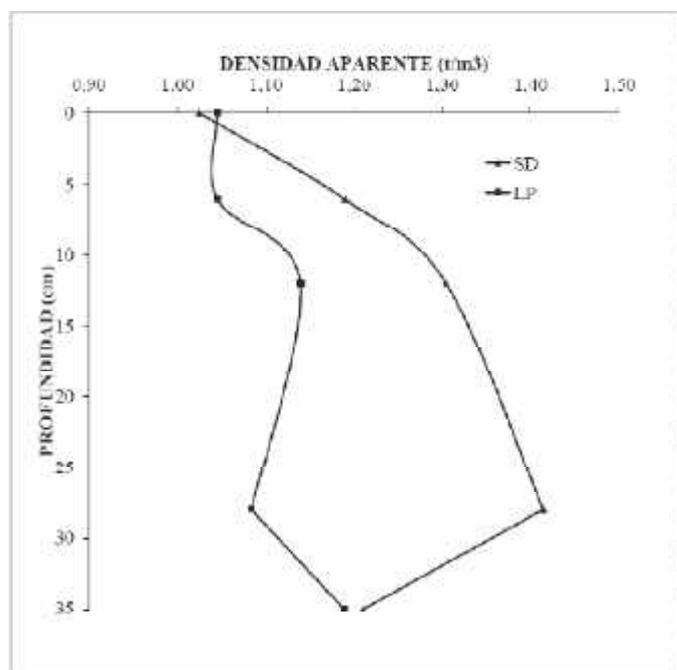
Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P > 0,01) para una misma profundidad.

Al relacionar estos valores con los de densidad máxima, obtenida a través de la prueba proctor (1.66 t m<sup>-3</sup> a la profundidad de 7-15cm y 1.70 t m<sup>-3</sup> en el espesor de 20-30cm), se evidenció que el grado de compactación relativa del suelo fue de 94% y 89% para las capas entre 7-15cm y 20-30cm, respectivamente. Estos valores exceden ampliamente a los valores umbrales a partir de los cuales, de acuerdo a Hakansson y Liepic (2000) y Da Silva *et al.* (1994), habría restricciones para el crecimiento de los cultivos, debidas fundamentalmente a la condición mecánica para la exploración radical, principalmente cuando el suelo se encuentra a un potencial de agua próximo al de punto de marchitez permanente.

El nivel de compactación alcanzado estaría relacionado, de acuerdo a lo planteado por Carter (1988), con su granulometría caracterizada por un elevado predominio de partículas esqueléticas (75% de limos y arenas finas), lo que le confiere inestabilidad y susceptibilidad a la compactación, además de escasa o nula capacidad de autoregeneración de su estructura al presentar mínima variación de volumen a medida que el suelo se deseca (Taboada *et al.*, 1996; Consentino *et al.*, 1998).

Un aspecto íntimamente asociado a la degradación estructural es el referido a la acción de la materia orgánica sobre la estabilidad estructural, respecto a lo cual, Moreno *et al.* (1996) encontraron que los suelos de esta región habían sufrido disminuciones de hasta el 78% en la materia orgánica y del 85% en la estabilidad de la estructura. Moreno *et al.* (2001), observaron que a medida que se intensificaba el uso de estos suelos, la estabilidad de agregados en agua disminuía, siendo los macroagregados los más afectados. Asimismo, los índices de estabilidad reflejaron que los mayores cambios ocurrieron en el tamaño de agregados de 1-5mm, que es el tamaño más favorable para proveer agua y aire para un normal crecimiento de raíces y parte aérea.

En condiciones de suelo similares, dentro del área experimental GD, se desarrollaron ensayos de labranza durante cinco años consecutivos, observándose que el perfil de DA del suelo manejado con SD mantenía la forma y magnitud de esta variable durante el período analizado (**Figura 1.31**). Aproximadamente entre los 12 y los 30cm de profundidad, aparecía una capa uniformemente densificada resultante de la característica natural de rigidez de la matriz edáfica, de la historia de uso y manejo intenso a la que estuvo sometido el suelo y de las condiciones actuales de no-remoción y tránsito.



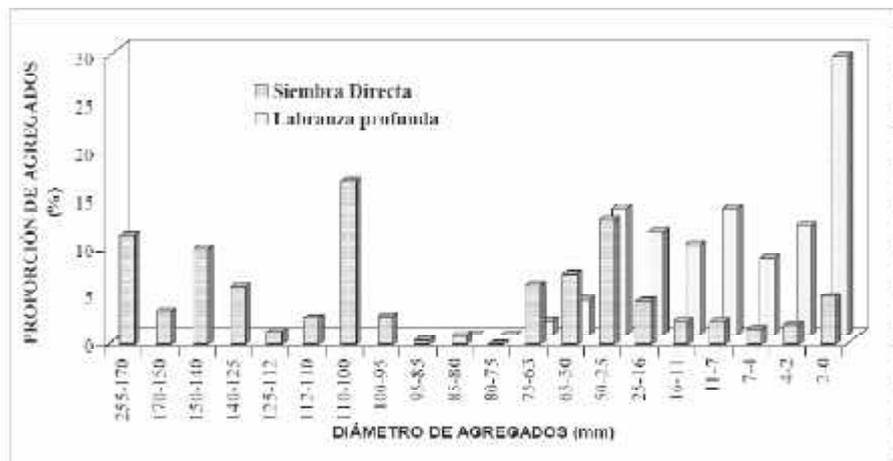
**Figura 1.31.** Perfil de densidad aparente de un suelo del área experimental General Deheza manejado con siembra directa y labranza profunda.

Paralelamente, se implementó un sistema de laboreo que incluyó una operación de labranza con subsolador alado "reja cero", con el objetivo de fragmentar esta capa densificada produciendo la mínima remoción de la cobertura superficial. El perfil de DA decreció significativamente alcanzando valores que no superaron 1.15 t m<sup>-3</sup> en todo el espesor

laboreado (**Figura 1.31**). El efecto más marcado, se evidenció en el espesor de 12 a 28cm, correspondiente al de la capa compactada, produciéndose una reducción desde 1.42 t m<sup>-3</sup> en el perfil previo a la labor hasta 1.07 t m<sup>-3</sup> en el perfil posterior a la misma.

En el espesor de la capa densificada, la introducción de la labranza profunda disminuyó la compactación relativa desde un 85.22 % a un 65%, lo que significó un incremento en la porosidad total del 44.5% al 55.75% y en la macroporosidad del 16.82% a 28.03%. El grado de fragmentación fue marcado, observándose un cambio en la distribución de tamaños de agregados (**Figura 1.32**). En

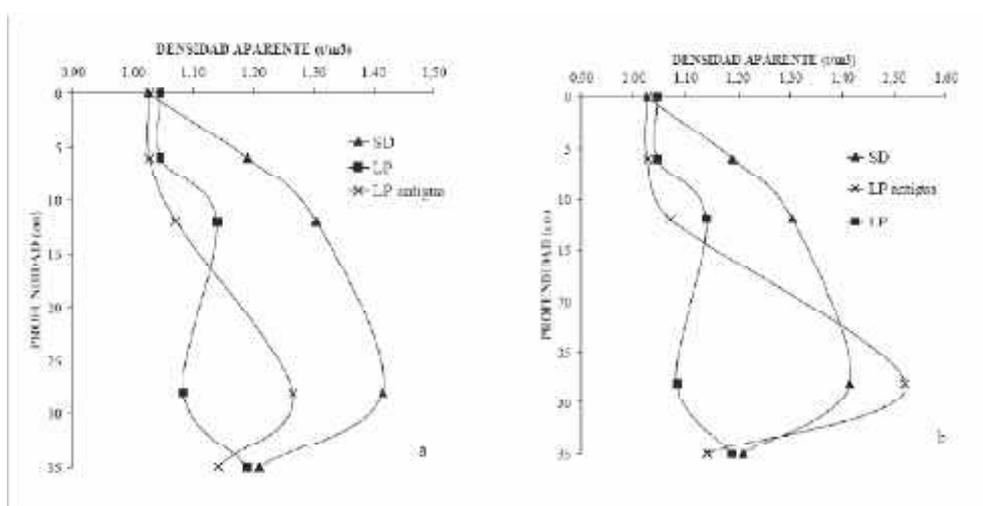
la situación previa a la labranza profunda, predominaba un diámetro de agregados superior a 100mm alcanzando valores extremos de hasta 225mm, mientras que en la situación con labranza profunda el 90% de los agregados no superó los 50mm. Esta reducción del tamaño de los agregados, de acuerdo a lo expuesto por Braunack y Dexter (1989), mejoraría la funcionalidad hidrofísica del perfil.



**Figura 1.32.** Distribución del tamaño de agregados en el espesor de la capa compactada del suelo del área experimental General Deheza, manejado con siembra directa y labranza profunda.

Con el objeto de evaluar la persistencia del efecto de esta labor, se evaluó la DA luego de dos años de haberse realizado esta operación de labranza, apreciándose que aún existían sectores del perfil cultural con valores de DA inferiores a los del perfil original (**Figura 1.33-a**). Sin embargo, se evidenciaron también áreas en donde la DA superaba a los valores

originales (**Figura 1.33-b**). Este comportamiento estaría obedeciendo a un proceso de reconsolidación de la estructura (Carter 1988), atribuido a factores naturales como la precipitación y la inestabilidad estructural y a la presión ejercida por el tránsito agrícola posterior a la labor (Wiermann *et al.*, 2000).



**Figura 1.33.** Evolución del perfil de densidad aparente del suelo del área experimental General Deheza, manejado con labranza profunda.

En el área experimental GC, las experiencias de labranzas indicaron tendencias similares a las observadas en GD. En el suelo manejado con SD, la DA superficial y subsuperficial en cuatro años de ensayo, se mantuvo elevada. Probablemente de manera similar a la situación anterior, la característica

de alta proporción de arenas muy finas y limos y escaso coloide orgánico, le confieren susceptibilidad a la compactación ante condiciones de tránsito y mínima remoción y escasas posibilidades de autoestructuración (**Cuadro 1.36**).

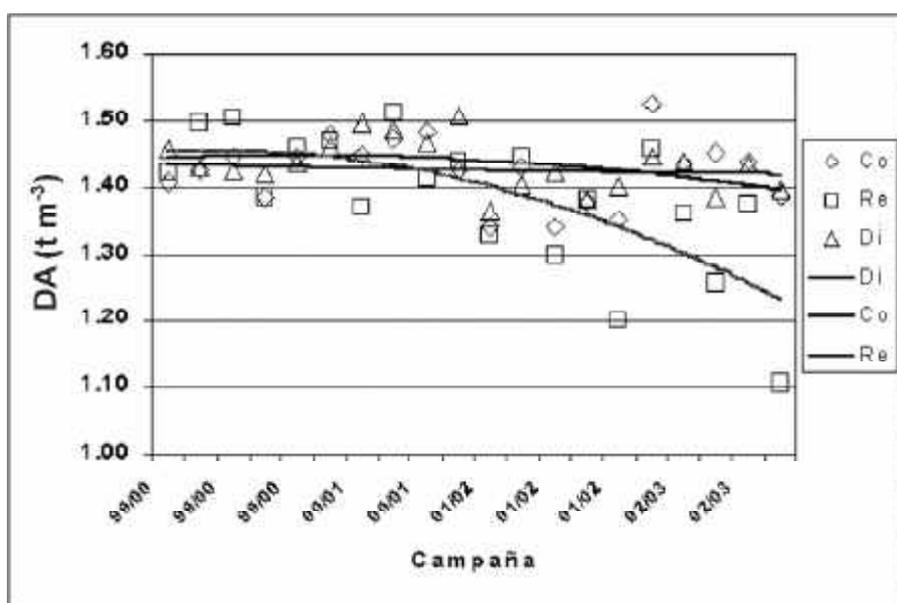
**Cuadro 1.36.** Efectos acumulados de tres años de ensayo con diferentes sistemas de labranza, sobre la densidad aparente del suelo del área experimental General Cabrera.

Profundidad (cm)	Labranza convencional (t m <sup>-3</sup> )	Labranza reducida (t m <sup>-3</sup> )	Siembra directa (t m <sup>-3</sup> )
0-5	1.20 b	1.06 a	1.14 b
5-10	1.33 b	1.09 a	1.35 b
10-15	1.36 b	1.18 a	1.38 b
15-20	1.36 b	1.18 a	1.40 b
20-25	1.34 ab	1.22 a	1.40 b
25-30	1.41 a	1.46 a	1.40 a

Letras diferentes para cada profundidad indican diferencias estadísticamente significativas P>0,01, entre sistemas de labranza.

Cuando se analizó la DA del espesor correspondiente a los pisos de labor, sólo en el tratamiento que incluyó labranza profunda mostró una tenden-

cia hacia la disminución de la DA, evidenciando el efecto de la profundidad efectiva de fragmentación de estas capas compactadas (**Figura 1.34**).



**Figura 1.34.** Evolución de la densidad aparente en el espesor de los pisos de labranza en cuatro años de ensayo con sistema de labranza convencional (Co), reducida (Re) y siembra directa (Di), en el área experimental General Cabrera.

## RESISTENCIA MECÁNICA

En la experiencia desarrollada en el área experimental GD, se evaluó la resistencia mecánica del suelo bajo los diferentes sistemas de labranza. En la situación con SD y en concordancia con el perfil de DA, la evaluación de la RM evidenció la presencia de una restricción mecánica ofrecida por la capa

densificada ubicada entre los 12 y 28cm de profundidad (**Figura 1.35**). Este espesor compactado, de acuerdo a lo planteado por Jorajuría *et al.* (1996), podría ser el resultado del efecto aditivo de la larga historia de pasaje de implementos agrícolas y de la compactación inducida por el tráfico de tractores.

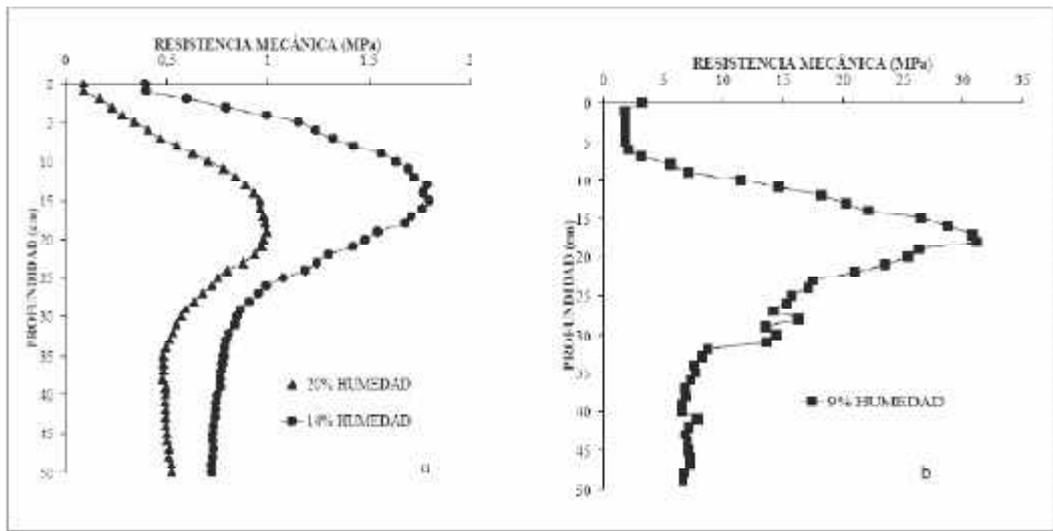


Figura 1.35. Variación del perfil de resistencia mecánica en función de la humedad, en el suelo del área experimental General Deheza manejado con siembra directa.

A partir de la observación de los perfiles de resistencia mecánica representados en la **Figura 1.35**, se puede apreciar la elevada modificación de esta variable con la humedad, coincidiendo con lo observado por numerosos investigadores como Gerard (1961) y para suelos similares a los de esta experiencia como lo indican Uberto *et al.* (2001) y Bonadeo *et al.* (2003). Esta variación conduciría a sostener que cuando el perfil se encuentra a contenidos hídricos próximos al de capacidad de campo, la impedancia mecánica para el crecimiento y exploración radicular puede quedar enmascarada o reducida, ofreciendo valores de resistencia mecánica inferiores a 1MPa cuando el contenido hídrico promedio de los primeros 30cm es de 20% ( $g\ g^{-1}$ ) y no superando los 2MPa cuando la humedad promedio es 14% ( $g\ g^{-1}$ ) (**Figura 1.35-a**). Sin embargo, cuando el contenido hídrico del suelo es cercano al del punto de marchitez permanente 9% ( $g\ g^{-1}$ ), la magnitud de la resistencia toma valores ex-

tremos y en consecuencia, según lo expresado por Vepraskas (1988), limitaría el desarrollo y exploración radicular (**Figura 1.35-b**).

Cuando se realizó la operación de labranza profunda en condición de suelo friable (13%  $g\ g^{-1}$  de humedad promedio en los primeros 30cm de profundidad), el perfil de resistencia mecánica se redujo marcadamente, adquiriendo valores inferiores a 1MPa y próximos a cero hasta la profundidad efectiva de trabajo de la herramienta que fue de aproximadamente 30cm (**Figura 1.36**). La humedad del suelo en la medición de resistencia mecánica posterior a la labor, fue algo inferior a la que presentaba el perfil cuando se realizó la medición previa a la misma, por lo que la reducción en los valores de resistencia mecánica puede ser atribuida al efecto de la herramienta.

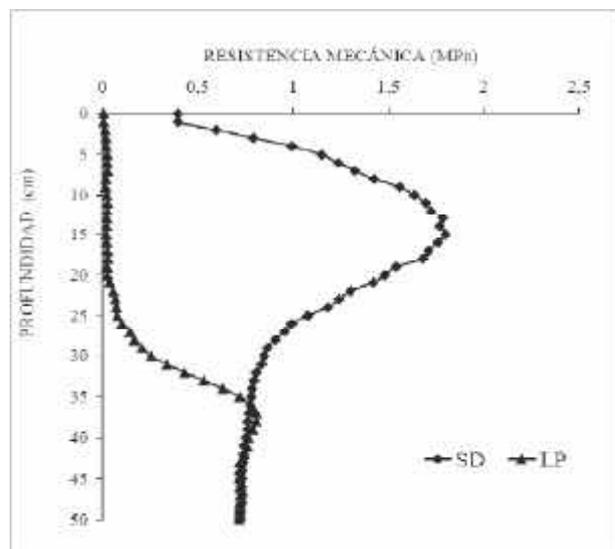
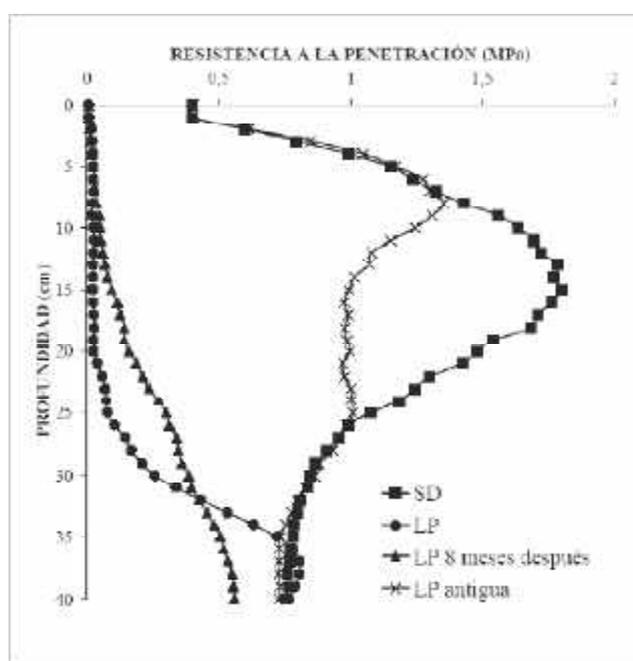


Figura 1.36. Perfil de resistencia mecánica del suelo del área experimental General Deheza, manejado con siembra directa y labranza profunda.

Un aspecto relevante a considerar en la adopción de alternativas de labranza profunda, es la persistencia de la condición de baja RM generada por la labor (Barber *et al.*, 1994). En este sentido, en la experiencia desarrollada en el área experimental GD, a los 8 meses después de haber realizado la labranza profunda y en ausencia de tráfico posterior a la misma, el suelo se encontraba más húmedo en todo el espesor del perfil cultural (16% g g<sup>-1</sup> de humedad) que en el momento inmediatamente después de la labor (12.5% g g<sup>-1</sup>). Sin embargo, se evidenció un incremento en la resistencia del suelo, manifestándose una disminución de la profundidad de aflojamiento inicial (**Figura 1.37**). La RM, 8 meses después del laboreo profundo, en todo el espesor afectado por la labranza, fue estadísticamente superior a la del momento inmediatamente posterior a la labor aunque con valores que no superaron 1MPa. Este incremento de la RM estaría asociado

al proceso de recompactación, atribuido en este caso a la ocurrencia de precipitaciones y a la inestabilidad de la estructura, y no a la presión ejercida por el tráfico posterior a la labor, lo que según Wiermann *et al.* (2000), habría generado una mayor reconsolidación.

A dos años de haberse realizado la labor de aflojamiento ("*labor antigua*") y en este caso, habiéndose producido tránsito sobre el terreno después de ella, la evaluación de la RM indicó que aún quedaban evidencias de su efecto (**Figura 1.37**). El perfil de RM evaluado a un nivel de humedad similar al del perfil manejado con SD, mostró incremento en los valores de resistencia con respecto a la situación recientemente aflojada, aunque su magnitud no superó 1,5MPa, valor a partir del cual podría haber restricciones para el crecimiento y exploración de raíces.



**Figura 1.37.** Evolución del perfil de resistencia mecánica del suelo del área experimental General Deheza, manejado con labranza profunda.

En el área experimental General Cabrera la RM del suelo manejado con los diferentes sistemas de labranza, mostró una tendencia favorable al sistema de LP. Luego de los cuatro años de ensayo la RM,

en condiciones de humedad próximos a capacidad de campo, fue sensiblemente menor en LP que en LC y en SD (**Cuadro 1.37**).

**Cuadro 1.37.** Efectos acumulados de tres años de ensayo con diferentes sistemas de labranza, sobre la resistencia mecánica del suelo del área experimental General Cabrera.

Profundidad (cm)	Labranza convencional (Mpa)	Labranza reducida (Mpa)	Siembra directa (Mpa)
0-26	0.88 b	0.15 a	1.45 c
26-40	1.39 a	1.17 a	1.28 a

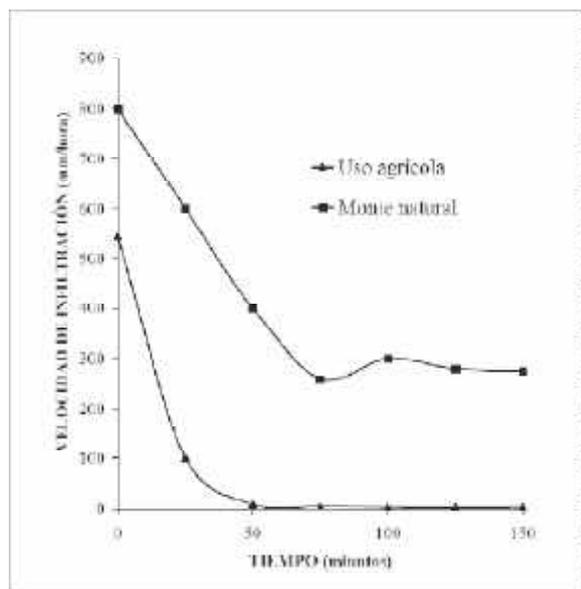
Letras diferentes para cada profundidad indican diferencias estadísticamente significativas P>0,01, entre sistemas de labranza.

## VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

De la evaluación de la velocidad de infiltración (VI) en el área experimental General Deheza y en la situación de monte natural, surge claramente que esta variable, al igual que la DA y la RM, resultó un indicador sensible del grado de deterioro físico que presentaba el suelo (**Figura 1.38**).

En términos relativos, la VI bajo intenso uso agrícola se redujo en el orden del 98% con respecto a la si-

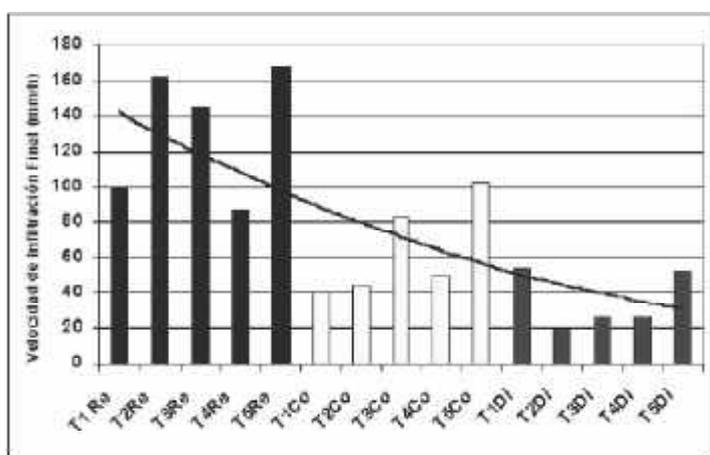
tuación de monte natural. En 150 minutos de ensayo, la VI media en el área experimental GD fue de 7.4mm/h, mientras que en la situación de mínimo disturbio esta variable alcanzó un valor medio de 312mm/h. Estos valores tendrían una asociación estrecha con la estabilidad de la estructura frente al movimiento de agua dentro del perfil (Arshad *et al.*, 1999) y con el cambio en el contenido de materia orgánica y en la estabilidad estructural observado por Moreno *et al.* (1996), para los suelos de esta región.



**Figura 1.38.** Curva de velocidad de infiltración en dos situaciones de uso del suelo del área experimental General Deheza.

En el área experimental General Cabrera, la VI luego de cuatro años de efecto acumulado de la aplicación de los diferentes sistemas de labranza, fue una de las variables que presentó las tendencias más claras a favor de las labranzas reducidas profundas (**Figura 1.39**). En 5 ensayos de 160 minu-

tos de duración en cada situación de labranza, la velocidad final de infiltración promedio fue de 132.2mm/h, 63.8mm/h y 35.8mm/h, en labranza reducida con labor profunda, labranza convencional y siembra directa, respectivamente.



**Figura 1.39.** Velocidad de infiltración final para los diferentes tratamientos de labranza del área experimental General Cabrera.

REF: Re: Labranza Reducida; Co: Labranza Convencional; Di: Siembra Directa.

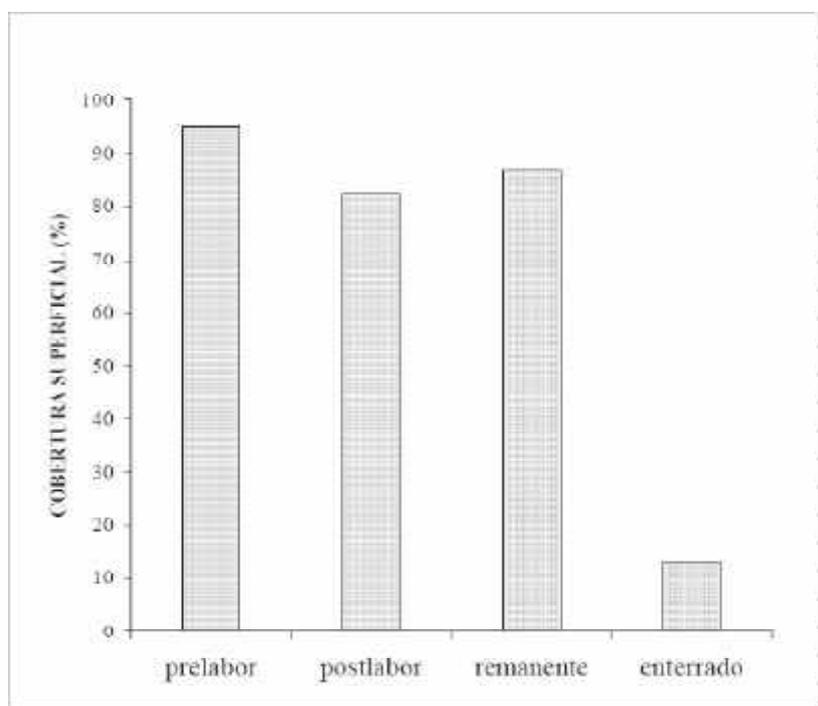
Los resultados obtenidos en la evaluación de VI mostraron coherencia con la evolución de la DA y la RM durante los años de experiencia en esta área experimental. La labranza reducida con labor de descompactación, generó fractura y agrietamiento en el perfil, mejorando el movimiento de agua en el interior del mismo, coincidiendo con lo observado por Pikul y Aasse (1999).

### COBERTURA SUPERFICIAL

En situaciones de elevada compactación superficial y subsuperficial, la introducción de operaciones de labranza de descompactación, que respondan a la restricción de alterar mínimamente la cobertura su-

perficial del perfil, surge como una alternativa a considerar en el manejo conservacionista del suelo. En este sentido en el área experimental GD se evaluó el cambio producido en la proporción de residuos superficiales por una labor con subsolador alado "reja cero". Los resultados mostraron que cuando la labor se realiza en condiciones de velocidad y humedad del suelo adecuadas y con un correcto alineamiento entre la cuchilla cortadora y la herramienta, el grado de enterramiento producido por esta operación de laboreo es pequeño (**Figura 1.40**).

En esta variable interviene también el tipo de reja utilizado en la labranza. Las rejas aladas y las tipo pie de pato de corona baja, dejan mayor porcentaje de cobertura superficial que las rejas tipo cincel derechas y éstas más que aquellas de extremos



**Figura 1.40.** Modificación de la cobertura superficial por efecto de una labor con subsolador alado "reja cero".

retorcidos y las helicoidales (SCS-USDA, 1992; Johnson, 1988).

Este mínimo grado de enterramiento de restos de cosecha, mantendría las ventajas de protección mecánica de la superficie y de un mejoramiento en la economía del agua del suelo, atribuidos a los sistemas de labranza de SD. Podría generar además,

una mejor distribución del coloide orgánico dentro del perfil, al incorporar parte de los restos en capas subsuperficiales. La resultante de los procesos de humificación/mineralización, dependiendo de la calidad del resto enterrado, de las condiciones climáticas y del manejo que se realice del suelo, podría contribuir a incrementar este componente estabilizante de la estructura edáfica.

#### IV. CONCLUSIONES

- Los suelos del área agrícola del sur de Córdoba, sometidos a más de 80 años de producción agrícola, presentan un severo deterioro de sus propiedades hidrofísicas, evidenciado en su resistencia mecánica, densidad aparente y velocidad de infiltración.
- Los sistemas de siembra directa continua sobre estos suelos con problemas de compactación, no revierten por sí solos este deterioro físico.
- La inclusión de operaciones de labranza profunda que fragmentan las capas endurecidas con el mínimo enterramiento de la cobertura superficial, es una alternativa adecuada de manejo, ya que disminuyen significativamente la resistencia mecánica y la densidad aparente e incrementan la velocidad de infiltración.

#### V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBE, R.G. 1994. *Persistence of loosened Horizons and Soybean Yield Increases in Bolivia*. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 943-950.
- BLAKE, G.R. and HARTAGE, K.H. 1986. *In: A Klute (de) Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no. 9 (2<sup>nd</sup> Edition)*. ASA and SSSA, Madison, WI. pp.363-375.
- BONADEO, E.; CANTERO, A. y BONVIOVANNI, M. 2003. *Relación entre la resistencia a la penetración, la densidad aparente y el contenido hídrico en un Hapludol típico*. Rev. UNRC 23 (1-2): 13-22.
- BOUWER, H. 1986. *Intake Rate: Cylinder Infiltrometer*. *In: Klute, A. (Ed.), Methods of soil analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods- Agronomy Monograph no. 9 (2nd Edition)*.
- BRAUNACK, M.V. and DEXTER, A.R. 1989. *Soil aggregation in the seedbed: a Review. II. Effect of aggregate sizes on plant growth*. Soil and Tillage Res. 14: 281-298.
- BRICCHI, E.; CANTERO, A. y BONADEO, E. 1991. *Caracterización física de los principales subgrupos de suelos y su relación con cultivos y sistemas de labranza en el Sur Oeste de Córdoba*. Actas del XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo-Bariloche.
- BRICCHI, E.; DEGIOANNI, A. y CUELLO, N. 1993. *Caracterización del perfil cultural en los suelos de la región central de Córdoba*. Actas del XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza, p.457.
- CANTERO, A.; BRICCHI, E.; BECERRA, V. y GIL, H. 1987. *Aplicación de un índice de aptitud relativa a las tierras del Departamento Río Cuarto-Córdoba*. Actas II Jornadas Científico-Técnicas Fac. de Agron. y Veter. UNRC- Río Cuarto.
- CARTER, M.R. 1988. *Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening in tillage studies*. Can. J. of Soil Sc. Vol. 68 (4): 657-668.
- CISNEROS, J.M.; DE PRADA, J.; DEGIOANNI, A.; CANTERO, A.; GIL, H.; REYNERO, M.; SHAH, F. y BRAVO, B. 2004. *Erosión hídrica y cambio de uso de los suelos en Córdoba*. Evaluación mediante el modelo RUSLE 2. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná (Entre Ríos), En Actas del Congreso, trabajo completo en CD.
- CISNEROS, J.M.; CANTERO, A.; MARCOS, J.; DEGIOANNI, A.; BRICCHI, E.; GIAYETTO, O.; CHOLAKY, C.; BONADEO, E.; CERIONI, G. y UBERTO, M. 1998. *Comportamiento de un subsolador alado adaptable a implementos de uso común*. *In: Balbuena, R.; Benez, S. H.; Jorajuría, D. (Eds.). Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito de Latinoamérica* Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. pp.128-134.
- CISNEROS, J.M.; CHOLAKY, C.; BRICCHI, E.; GIAYETTO, O. y CANTERO, J. 1997. *Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Haplustol típico del centro de Córdoba*. Revista de la UNRC, 17 (1): 13-22.
- CONSENTINO, D.J.; PECORARI, C.; ARRIGO, N. y COSTANTINI, A. 1998. *Impacto de la presencia de fitolitos sobre el comportamiento del esqueleto mineralógico de los suelos*. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Villa Carlos Paz, Argentina. pp.21-22.
- DA SILVA, A.P.; KAY, B.D. and PERFECT, E. 1994. *Characterization of the Least Limiting Water Range of Soil*. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1775-1781.
- DESBIOLLES, J.M.A.; GODWIN, R.J.; KILGOUR, J. and BLACKMOREI, B.S. 1997. *A novel approach to the prediction of tillage tool draught using a standard tine*. J. Agr. Engng. Res. 66: 295-309.

- DONALD, J.; CAMBELL, Y. and HENSHALL, L.K. 1991. *Bulk Density*. In: Smith, A.; Mullis, C. E. (Eds.) Soil Analysis Physical Methods. Marcel Dekker, Inc. USA.
- EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT. 1995. Penetrologer. Manual de usuario. 28p.
- GERARD, C.J.; BLOODWORTH, M.E.; BURLESON, C.A. and COWLEY, W.R. 1961. *Hardpan formation as affected by soil moisture loss*. Soil Sci. So. Amer. Proceed. 25: 460-463.
- HAKANSSON, I. and LIEPIC, J. 2000. *A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction*. Soil and Tillage Research. 53: 71-85
- JOHNSON, R. 1988. *Soil Engaging Tool Effects on Surface Residue and Roughness with Chisel-type Implements*. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 237-243.
- JORAJURÍA, D.; DRAGHI, L. y ARAGÓN, A. 1996. *Compactación del suelo bajo tráfico repetido*. Revista de Investigación Agraria, UNLP, 10(3): 473-482.
- LAFLEN, J.M.; AMENIYA, M. and HINTA, E.A. 1981. *Measuring crop residue cover*. J. Soil Water Conservation 36: 341-343.
- MORENO, I.; CHOLAKY, C.; LESSER, M. y MARCOS, J. 1996. *Efecto de la labranza sobre el contenido de carbono orgánico y su implicancia en la estabilidad estructural*. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. La Pampa.
- MORENO, I.; ORIOLI, G. y BONADEO, E. 2001. *Cambios inducidos en la estabilidad de agregados por efecto de la disminución de materia orgánica*. XV Congreso Latinoamericano.
- PIKUL, J.L. and AASE, J.K. 1999. *Wheat response and residual soil properties following subsoiling of a sandy loam in eastern Montana*. Soil and Tillage Research, 51:61-70.
- SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS DEL DPTO. AGRIC. DE LOS ESTADOS UNIDOS (SCS-USDA). 1992. Crop Residue Management Guide. 19p.
- SHAFIQ, M.; HASSAN, A. and AHMAD, S. 1994. *Soil physical properties as influenced by induced compaction under laboratory and field conditions*. Soil and Tillage Research, 29: 13-22.
- TABOADA, M.A.; MICUCCI, F.G. y CONSENTINO, D.J. 1996. *Evaluación de la siembra directa como causante de compactación en dos suelos de la Pampa Ondulada*. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Santa Rosa de La Pampa, Argentina. pp.217-218.
- UBERTO, M.; CISNEROS, J.; VIGNOLO, C.; CHOLAKY, C. y PEDELINI, R. 2001. *Recuperación de la productividad en tierras del área manisera núcleo*. I. Propiedades físicas. Actas trabajos completos XVI Jornada Nacional de Maní, Gral. Cabrera, Argentina. pp.16-18.
- VEPRASKAS, M.J. 1988. *Bulk Density Values Diagnostic of Restricted Root Growth in Coarse-textured Soils*. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1117-1121.
- VIGNOLO, C.; CHOLAKY, C.; UBERTO, M.; CISNEROS, J. y PEDELINI, R. 2002. *Sistemas de labranzas en Hapludoles énticos del Área núcleo manisera de Córdoba (Argentina)* II. Efecto sobre el comportamiento de los cultivos. XVIII Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn, Arg. En Actas.
- WIEREMANN, C.; WERNER, D.; HORN, R.; ROSTEK, J. and WERNER, B. 2000. *Stress/strain processes in a structured unsaturated silty loam Luvisol under different tillage treatments in Germany*. Soil and Tillage Research 53: 117-128.

# DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS DE LOS VERTISOLES, ORIENTADAS AL MANEJO SUSTENTABLE CON LA SIEMBRA DIRECTA

por **Jorge Cerana;**  
**Silvia Rivarola;**  
**Norma Arias;**  
**Ana Carina Banchemo;**  
**Silvana Sione**  
*Facultad de Ciencias Agropecuarias,*  
*UNER, Argentina*  
**Marcelo Wilson,**  
**E.E.A. Paraná INTA, Argentina**  
**Oscar Pozzolo;**  
**Juan José De Battista**  
*E.E.A.C. del Uruguay INTA, Argentina*

## I. INTRODUCCIÓN

### *EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA DE ESTUDIO*

Las restricciones físicas de los Vertisoles están relacionadas al tipo de arcillas dominantes (esmectitas) y al régimen hídrico, acompañado de ciclos de expansión-contracción que dificultan la aplicación de métodos y estimaciones para su evaluación.

Si bien pueden almacenar cantidades importantes de agua, el rango aprovechable es muy corto, debido a los problemas de aeración, resistencia a la penetración y la escasa profundidad efectiva de enraizamiento que pueden alcanzar los cultivos. Son susceptibles a la compactación, en particular

cuando las operaciones de campo son realizadas con altos contenidos hídricos. Sin embargo en muchos casos, dichos efectos no son reflejados por el aumento en la densidad del suelo.

Estas condiciones han sido descritas por Benavidez *et al.* (2004), tanto en el plano de los horizontes superficiales como en los subsuperficiales, dando lugar a propuestas metodológicas que han sido validadas para el sistema de producción arrocero y que resultarán útiles para la evaluación de las prácticas de manejo.

Las modificaciones que pueden alterar la condición del suelo superficial, o del perfil completo, deben ser expresadas en términos cuantitativos, numéricos, comparables con otras regiones, o con las situaciones pre-existentes a la introducción de los usos y manejos actuales.

El conocimiento del origen de los impactos y la evaluación de la intensidad de sus efectos, son indispensables para la implementación de prácticas mejoradas de manejo de los cultivos, permitiendo realizar algunas recomendaciones, lo que se dejará expuesto a modo de conclusiones.

En cuanto al suelo superficial, la calidad de empaquetamiento de partículas, ligadas entre sí al azar y mantenidas en unidades de «formas» variadas por material de naturaleza coloidal, no puede desconocer el rol de la materia orgánica viva, o bien en estado más o menos humificado y las condiciones del complejo de intercambio.

En este sentido, la estructura y su estabilidad constituyen un patrón de juzgamiento de importancia al poder discriminar las causas del deterioro, como las provenientes de acciones mecánicas sobre la capa superficial y asociarla a procesos químicos, tales como la “disolución de sales y cementos”, o a la “ineficacia de los ligantes orgánicos debilitados”, o también a que no pocos “enlaces químicos se han hidrolizado” y, aún a la falla de otro tipo de puentes de unión electrostática que resultaron alterados o fuertemente desnaturalizados.

Los procesos de deterioro pueden avanzar y resultar en efectos degradativos de largo plazo. A pesar de ello, debe tenerse en cuenta la capacidad regenerativa de la estructura, “self churning”, Nyamudeza *et al.* (2001), o el “self mulching” según otros autores, producidos por la alternancia del secamiento y humedecimiento reiterado y la presencia de los minerales esmeclíticos de los Vertisoles. La llamada “autoestructuración”, se acentúa con la instalación de la vegetación y el trabajo de los sistemas radicales.

Las propiedades físicas y mecánicas como la consistencia, la densidad aparente, la capacidad soporte para sostener el peso de máquinas y herramientas agrícolas, están relacionadas con la aparición de procesos indeseables, como la compactación inducida o el encostramiento, que acentúan con los requerimientos de una producción cada vez más intensiva y que resultan muchas veces irreversibles.

Esta compactación, en sentido agronómico, es algo más que la reducción de la porosidad, e involucra a fenómenos de gran importancia para los cultivos como la aireación, la circulación del agua, el drenaje, la penetración de las raíces y del volumen total de suelo explorado.

Nuestras investigaciones, orientadas originalmente al análisis de la influencia del sistema agrícola-ganadero con el arroz como base de las rotaciones, ha permitido seleccionar algunas técnicas que resultan aplicables para valorar el impacto del manejo sobre la sustentabilidad del sistema productivo, principalmente en los problemas de compactación y estabilidad estructural.

## CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LOS VERTISOLES

Los Vertisoles entre sus características muy particulares muestran la alternancia de sus estados estructurales modificando la relación de poros debido a razones naturales o climáticas, como las precipitaciones, o antrópicas como ser el riego. Gobernada por el estado de humedad se encuentra una densidad aparente que reconoce valores extremos comparados con otros suelos (Wilson y Cerana, 2004).

Los valores de Peso Específico Aparente (PEA) determinados en estado saturado, son bajos y menores de  $1\text{Mgm}^{-3}$ , pero en la condición de suelo seco llegan a  $1,3\text{Mgm}^{-3}$ , si se considera el volumen de las grietas o densidades de campo y mayores a  $1,7\text{Mgm}^{-3}$  si sólo esta siendo considerado el volumen del terrón o ped, en esta condición, el volumen de poros se considera mínimo, igual a la porosidad textural. Cuando la humedad tiende a su máximo valor H (máx.), el PEA se aproxima a su valor mínimo, PEA (min.) (Greacen y Hignett, 1979), (Yule y Ritchie, 1980). Esto supone un gran cambio de las propiedades físicas e hidrológicas durante los ciclos de secado-contracción y mojado-expansión.

La determinación que resulta apropiada para caracterizar la naturaleza expansiva de los suelos Vertisoles ha sido el COLE, Coeficiente de Extensibilidad Lineal (Brasher *et al.*, 1966). Ensayos efectuados en Vertisoles de Entre Ríos, mostraron valores superiores a 0,16 para el horizonte subsuperficial (Cerana *et al.*, 1983).

Durante el secado se pueden distinguir dos momentos, el primero, donde la pérdida de un volumen de agua esta acompañada de una reducción equivalente del volumen aparente de suelo y el segundo, donde no habría modificación del volumen total pero donde los pedos reducen la porosidad interna, aumentando la densidad de agregados y aparecen las grietas que se van haciendo más amplias y profundas a medida que se reduce el contenido de humedad (Castiglione *et al.*, 2004).

La porosidad estructural en los Vertisoles comprende grietas de contracción y bioporos, sólo en los horizontes más superficiales aparece un volumen de bioporos más o menos estables. La determinación

de esta porosidad es difícil, ya que en condiciones de alta humedad las operaciones de muestreo fácilmente la destruyen. En profundidad, la porosidad estructural solo esta compuesta por grietas que se cierran cuando el suelo se humedece. Ritchie *et al.* (1972), a brindado un diagrama esquemático de este agrietamiento.

El sistema estructural de grietas crea patrones espaciales de mayor heterogeneidad que los encontrados habitualmente en otros suelos, aumentando los rangos de variación de las medidas de humedad y otras propiedades relacionadas.

Este particular comportamiento debe ser tenido en cuenta, para la realización de las determinaciones de penetrometría e interpretación de resultados. Una en el conocimiento del comportamiento a una escala macro del orden del metro y otra a escala del milímetro. Las determinaciones expresadas en forma gravimétrica o volumétrica tienen una significación distinta para estos suelos y no presentan una relación lineal.

Como una guía empírica, se ha tomado que aquellos suelos arcillosos hinchables con fuerte "self mulching" y con unidades estructurales pequeñas de 5mm en el subsuelo, producen buenas cosechas en condiciones de restricción hídrica, ya que en la medida que el suelo pierde humedad, las raíces pueden profundizar buscando la humedad del subsuelo por las vías preferenciales del sistema de grietas (Butler y Hubble, 1977), (Badaway, 1979).

Se prefiere en la actualidad expresar la humedad como el volumen de agua contenido por unidad de volumen de suelo, utilizando para ello métodos de campo de mínima perturbación como son la utilización de la Sonda de neutrones y el TDR.

La utilización del penetrómetros de campo resulta ideal para el estudio de la condición física subsuperficial de los suelos que por ser de fácil realización, permiten un número elevado de repeticiones, tomando toda la profundidad del perfil, donde otros métodos resultan engorrosos o inaplicables. Particularmente en Vertisoles cobra mayor significación, ya que las mediciones deben reflejar las condiciones cambiantes en el entorno de humedad donde se desarrollan los cultivos (Wilson *et al.*, 2000). Las determinaciones obtenidas con el penetrómetro, han reflejado el estado de compactación y resultan de utilidad cuando se trata de inferir esos estados (Ayers y Bowen, 1987).

Las características físicas de estos suelos están dominadas por amplios procesos de hinchamiento y contracción, reflejados por su coeficiente de extensión lineal, que permite conocer el cambio volumétrico en suelos arcillosos. Wilson y Cerana (2004), indican la importancia que toma este coeficiente

en el Argiudol vértico a una profundidad de 65cm (horizonte B), alcanzando valores similares a un Peluderte argiacuólico, mientras que en este último se supera el valor de 10%, desde los primeros centímetros superficiales.

Estos cambios volumétricos provocan problemas en la estimación del contenido hídrico en el suelo cuando comienzan a secarse por contracción y agrietamiento (Greacen y Gardner, 1982), no respondiendo adecuadamente a los modelos de balance hídrico comúnmente conocidos (Heredia, 2000) y son responsables de los cambios abruptos en la Resistencia a la Penetración (RP).

## II. INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO

El concepto de calidad del suelo evoca varias acepciones dependiendo del contexto, ya sea científico o social. Para algunos sugiere una relación ética o vivencial con la tierra, para otros la calidad del suelo es una integración de los procesos del suelo que está relacionada con factores tales como el uso, los patrones climáticos, las secuencias de cultivos y los sistemas de labranza (National Research Council, 1993; Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1992; Larson y Pierce, 1994).

Para el productor agropecuario la calidad del suelo es frecuentemente el equivalente de salud del suelo. En la comunidad científica calidad y salud del suelo son usadas como sinónimos (Doran y Parkin, 1994). Tradicionalmente calidad del suelo significaba aptitud o limitaciones del suelo para un uso en particular (Warkertin y Fletcher, 1977; citado por Doran y Safley, 1997).

Para Karlen *et al.* (1998), la calidad del suelo revela su función específica de tal, dentro de las bondades del ecosistema natural o manejado, para sostener la productividad de plantas y animales, mantener o acrecentar la calidad del agua y del aire y ser soporte de la salud humana y la habitabilidad. Es decir, la calidad del suelo está relacionada a su naturaleza dinámica, influenciada por el uso y manejo humano. Al caracterizar sus cambios, cuantitativamente se pueden evaluar directa o indirectamente los impactos ambientales de las decisiones de manejo por parte del hombre.

La calidad del suelo no puede ser medida directamente, pero puede ser inferida desde cambios en sus atributos o atributos del ecosistema, llamados indicadores. Estos deben ser de fácil observación o registro, sencillos de comprender (Viglizzo, 1996) y sus mediciones deben ser reproducibles (Gregorich *et al.*, 1994). Se habla entonces de un set de datos mínimos o conjunto de datos mínimos (CDM), (Larson y Pierce, 1994; Doran y Safley, 1997;

Seybold *et al.*, 1998). Este CDM sirve para evaluar la calidad del suelo y puede variar para distintos lugares, dependiendo del tipo de suelo, el uso, sus funciones y los factores formadores del mismo. Seybold *et al.* (1998), proponen dos metodologías para medir y evaluar los cambios en la calidad del suelo: i) el monitoreo de tendencias y; ii) la determinación de valores de referencias (Lal, 1997).

### CAMBIOS VOLUMÉTRICOS EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO HÍDRICO DEL SUELO

Henin (1976), cita a Haines (1923) quien estudió la evolución de la porosidad en el sistema arcilla-agua. Partiendo del suelo saturado en el punto de máximo hinchamiento, existe una variación del volumen proporcional a la pérdida de agua que se da a una pendiente máxima, hasta a un punto en el que comienza a ingresar aire en el sistema que provoca una contracción menor del material. Al continuar el desecamiento del suelo, se llega a un punto denominado "límite de retracción" donde el material pierde agua pero su cambio volumétrico es ínfimo.

En tal sentido, Mc Garry y Malafant (1987), propusieron un modelo de contracción que consiste en la delimitación de tres zonas: de contracción normal, donde el volumen de agua extraída es similar a la disminución del volumen del agregado y las zonas de contracción estructural y residual, en donde el cambio volumétrico del suelo es menor al volumen de agua desocupado. Castiglioni *et al.* (2004), comentan que los horizontes Bt de Argiudoles de la Pampa ondulada presentan contracción de tipo estructural, cuyo comienzo se da en un rango amplio de tensiones (0.005 a 0.033MPa) y citan a Allbrook (1992) y Yule y Ritchie (1980), quienes indican que dicho límite se produce entre 0.020 y 0,033MPa para Vertisoles de Texas.

Según Wilding y Tessier (1988), estos cambios son causados por un movimiento diferencial del plasma de las arcillas en respuesta a los cambios de volumen de poros, intra e interpartículas, al aumentar los potenciales mátricos.

Cuando el suelo se encuentra en estado seco, la pérdida de agua en los microporos resulta en una tensión capilar suficiente como para causar una contracción de la matriz del suelo y la posterior formación de porosidad interped y grietas. Estos cambios ocurren entre 0.033 y 20MPa de potencial matricial o entre los límites de hinchamiento y contracción identificados en la curva característica de contracción (Wilding y Tessier, 1988; Coulombe *et al.*, 1996).

A medida que disminuye el contenido hídrico se produce un aumento en la densidad del suelo. Greacen

y Gardner (1982), proponen la **Ecuación 1** para explicar lo anteriormente expuesto.

Ecuación 1

$$y = \frac{1}{\delta(r) + \omega + \frac{\epsilon}{\delta(\min)}}$$

Donde:

y = densidad del suelo (g cm<sup>3</sup>)

$\omega$  = contenido hídrico del suelo (g g<sup>-1</sup>)

$\delta(r)$  = densidad real del suelo (g cm<sup>3</sup>)

$\delta(\min)$  = densidad mínima del suelo, cuando el contenido hídrico del suelo es máximo (g cm<sup>3</sup>)

Asimismo, Orellana (1987), encontró que los horizontes B<sub>2t</sub> de Santa Fé presentan la siguiente relación:

Ecuación 2

$$y = -1,5317\omega^2 + 0,0762\omega + 1,6009$$

Donde:

y = densidad del suelo (g cm<sup>3</sup>)

$\omega$  = contenido hídrico del suelo (g g<sup>-1</sup>)

Considerando ambas ecuaciones, pudo observarse que en el tramo de agua útil la relación es lineal. Incorporando datos de horizontes B de Vertisoles de Entre Ríos (Series Yerúa, Don Guillermo, General Campos y Gilbert), se logra obtener la siguiente ecuación (**Ecuación 3**). Dicha ecuación es utilizada para el cálculo del contenido de agua volumétrica en función del contenido hídrico del suelo medido a campo.

Ecuación 3

$$y = -1,8155\omega + 1,9681 \quad R^2 = 0,86$$

Donde:

y = densidad del suelo (g cm<sup>3</sup>)

$\omega$  = contenido hídrico del suelo (g g<sup>-1</sup>)

Por otra parte, la utilización de sondas de neutrones (Greacen, 1981), u otros equipos electrónicos permiten conocer el agua volumétrica del suelo en forma más directa y rápida, disminuyendo así el error experimental. Sin embargo, su mayor limitante es el alto costo de los equipos.

### Obtención de curvas de Resistencia a la Penetración

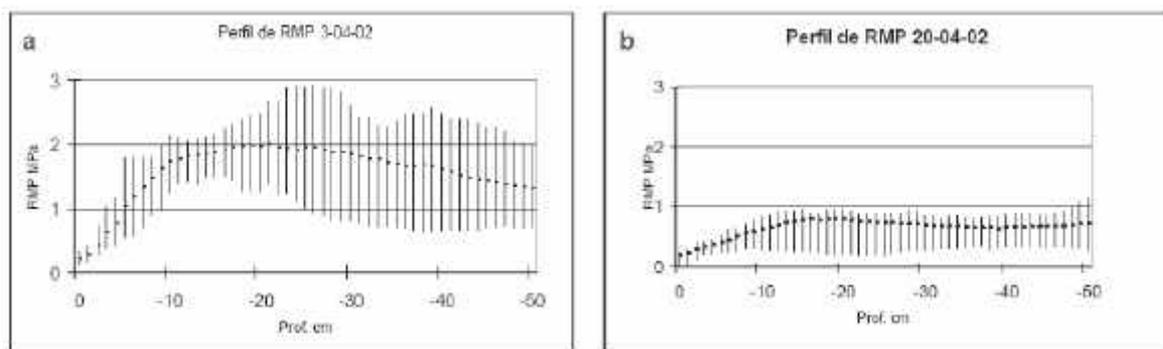
Como paso siguiente, se debe considerar la influencia de la maquinaria agrícola utilizada. Ella queda representada por condiciones tales como el tren de rodamiento (de cubiertas, orugas), expresadas a través de presiones de inflado, presión de contacto suelo-cubierta, distribución del peso entre ejes delantero y trasero, peso por eje, velocidad de marcha de los equipos e índices de patinamiento de ruedas entre otros (Pozzolo *et al.*, 2002). La forma de transmisión de la compresión en un ámbito no confinado varía según los autores, un modelo aceptable sobre la transmisión vertical de compresión en el suelo, propone un «efecto pistón», (Hadas, 1994), en el que desde los horizontes superiores saturados, la compresión se transmite por el agua que es incomprensible, hasta profundidades con suficiente grado de humedad.

La sugerencia de considerar a la compactación como un proceso de colapso de la estructura del suelo, implica que en su mayoría los métodos usuales para la caracterización del fenómeno (densidad aparente, porosidad al aire, micromorfología, penetrometría, veletas de corte), tendrán en el mejor de los casos, un valor de comparación y en tal sentido, se ha hecho la opción de la metodología empleada en este caso. En los párrafos que siguen

se describen la forma de trabajo experimental utilizada en este aspecto.

En los Vertisoles, con bajo contenido hídrico, a la heterogeneidad de las condiciones hídricas se agrega la presencia de grietas y el incremento de densidad de la masa del suelo, dando como consecuencia el aumento del rango de amplitud de las determinaciones de resistencia a la penetración. Una experiencia de Pozzolo *et al.* (2002), indican que el promedio de resistencia a la penetración alcanza los 2MPa, con un rango de variación que oscila entre un mínimo de 1.2MPa y un máximo de 2.9MPa, con un desvío estándar de 0.5 (**Figura 1.41a**). En los registros obtenidos con condiciones de máximo contenido hídrico, no se manifiestan sectores de alta resistencia a la penetración, resultando perfiles muy poco diferenciados en profundidad y donde la variabilidad de los registros muestran máximos de 0.9MPa y mínimos de 0.2MPa con valores promedios de 0.75MPa y desvíos estándar de 0.2. (**Figura 1.41b**)

De allí, que se considera necesario conocer para cada tipo de suelo y horizontes, la relación existente entre el contenido hídrico y la resistencia a la penetración. En tal sentido, Ehlers *et al.* (1983); Cass *et al.* (1994); Orellana *et al.* (1987); Wilson *et al.* (2000), han utilizado ecuaciones matemáticas para conocer dicha relación.



**Figura 1.41.** Perfil de RP en dos condiciones hídricas del suelo diferentes. Se presentan valores promedios y su desviación standard, en profundidad. **a:** Perfil de RP con bajo contenido hídrico. **b:** Perfil de RP con alto contenido hídrico. Fuente: Pozzolo *et al.* (2002).

Pozzolo *et al.* (2002), trabajando en un Vertisol de Entre Ríos, con sonda de neutrones para obtener el contenido hídrico del suelo y penetrógrafo digital para resistencia a la penetración, durante el ciclo de un cultivo de soja, encontraron que una ecuación potencial fue la que presentó mejor ajuste (**Cuadro 1.38**). Se realizó la relación entre el grado de saturación del suelo ( $\theta/\theta_s$ ) y la resistencia a la penetración para diferentes profundidades. Se evidenció una gran variación de los valores de la resistencia a la penetración en función de los contenidos hídricos del suelo. Dichas variaciones responden a una ecuación potencial para las diferen-

tes profundidades en el perfil, lo que permite corregir los valores de resistencia a la penetración más adecuadamente.

La evolución de los perfiles de resistencia a la penetración muestra, que cuando las condiciones hídricas son óptimas, los valores obtenidos se encuentran muy por debajo del valor crítico de 2MPa sugerido por Letey (1985). Pero, en cuanto el suelo comienza a secarse los valores rápidamente se acercan y superan dicho valor crítico, para un espesor considerable del perfil.

**Cuadro 1.38.** Relación entre el grado de saturación del suelo ( $\theta/\theta_s$ ) y la resistencia a la penetración, usando una ecuación potencial  $P = P_0 (\theta/\theta_s)^b$ , para diferentes profundidades en un Peluderte ártico,  $n = 104$  para 05-10 y  $n = 160$  para el resto de las profundidades.

Profundidad (cm)	Coeficientes de la función potencial		$R^2$	
	$P_0$ (Mpa)	b	Ec. Potencial	Ec. Exponencial
05-10	0.1928	-2.2073	0.707	0.714
10-20	0.2915	-2.5164	0.756	0.748
20-30	0.2728	-2.8332	0.681	0.654
30-40	0.2420	-3.1583	0.562	0.529

De lo anteriormente descrito puede decirse entonces que en estado seco aumentan los rangos de variación de resistencia a la penetración, mientras que en estado húmedo la variabilidad es muy baja, por lo que se recomienda realizar las mediciones en condiciones hídricas próximas a la capacidad de campo.

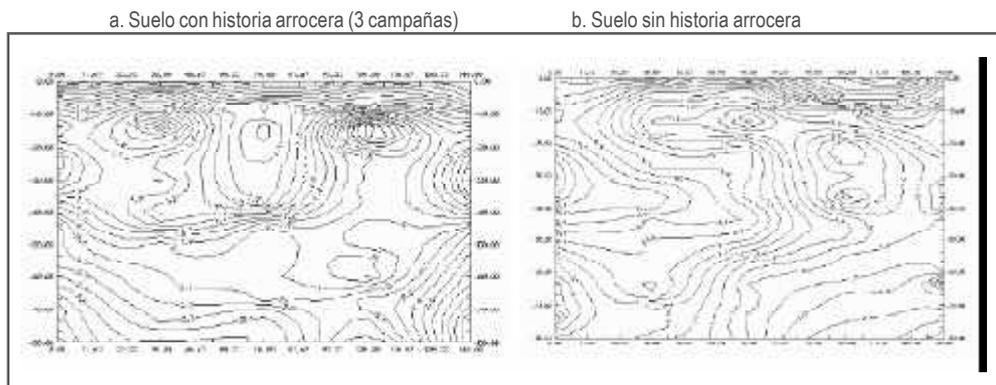
#### EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CULTIVOS A TRAVÉS DE LA CONDICIÓN FÍSICA DE SUELOS

##### El efecto de la compactación subsuperficial

Los Vertisoles son susceptibles a la compactación cuando las operaciones de campo son realizadas con altos contenidos de agua en el suelo (Potter y Gerik, 2001). Las cosechas de los cultivos estivales, en particular la de arroz, se realizan en el otoño bajo

condiciones de inundación o en estado de saturación del perfil, con cosechadoras muy pesadas y tractores que arrastran carros tolveros. Se produce un importante huelleado, en muchos casos muy profundos (Pozzolo *et al.*, 1996 y 2001). La huella dejada por la cosechadora cuando se desplaza en suelo poco húmedo realiza presión sobre el suelo sin alcanzar el amasado del mismo y la densificación subsuperficial no es tan marcada como en el caso del tránsito con suelo saturado donde las ruedas de la maquinaria realizan amasado en el suelo, existiendo compactación por debajo de la huella que puede llegar hasta más allá de los 35cm. Se produce desplazamiento lateral del material sobre la superficie, provocando una importante densificación.

En la Figura 1.42 se presenta el perfil de isorresistencia de un Vertisol en dos situaciones, con y sin historia arrocera. En el centro de la Figura 1.42a se puede observar los efectos de la compactación se transmiten hasta los 40cm. (Cerana *et al.*, 2002).



**Figura 1.42.** Perfil de isorresistencia obtenido con penetrógrafo digital a) en la situación con antecedente de arroz y b) sin arroz, durante un cultivo de soja en el estado R6, año 2001.

A nivel superficial las resistencias aumentan con la profundidad, no observándose diferencias en los tratamientos hasta los 8cm. Aparece en la situación con arroz, a los 10cm zonas de alta resistencia a la penetración que reflejarían la existencia de

un piso de arado en la entre línea, llegando a 2 MPa. En la línea de cultivo los valores a esa profundidad son más bajos debido a la presencia de grietas inducidas por las herramientas utilizadas para la siembra y el crecimiento de las raíces. Dichos valores

de resistencia a la penetración se mantienen hasta los 40cm, a partir del cuál superan los 2MPa. Este comportamiento de elevación de la resistencia en profundidad, se corresponde con lo citado por Hillel (1998), donde las presiones del tránsito de maquinarias producían efectos hasta los 60cm.

En la situación sin arroz, se observa un piso de arado con resistencias a la penetración menores y la presencia de grietas en la línea del cultivo no se alcanza a percibir manteniéndose un cierto paralelismo de las líneas de isoresistencia. La resistencia a la penetración aumenta en profundidad, pero se alcanzan valores muy por debajo de lo hallado

en la situación con arroz, que no superan el valor crítico para el crecimiento de las raíces de 2MPa.

El sistema radical del cultivo de soja en la situación sin arroz, logró una mayor densidad y una distribución más homogénea en todo el perfil. En la situación con arroz se evidencian las altas resistencias a la penetración provocadas por el piso de arado, que provocan una menor densidad de raíces. Su distribución es más heterogénea y se observó el crecimiento localizado de raíces en la zona de grietas, llamado «corrientemente crecimiento compensatorio» (Russell *et al.*, 1981). En la **Figura 1.43** se presenta el perfil de densidad de raíces.

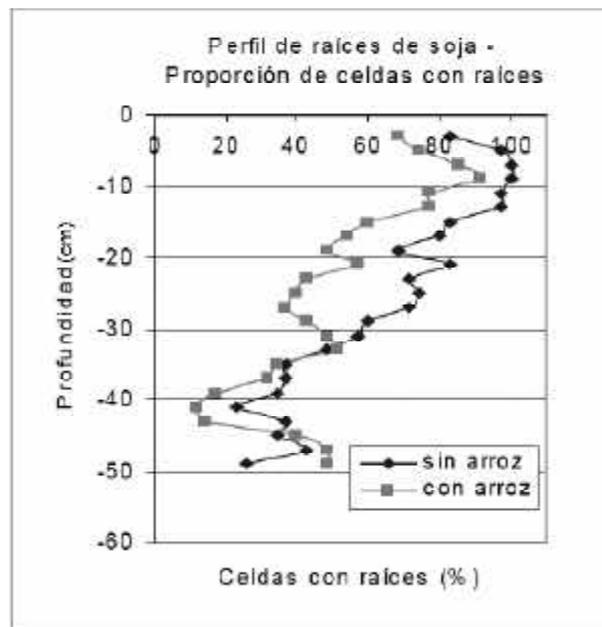


Figura 1.43. Perfil de densidad de raíces en un cultivo de soja en suelos con y sin historia arroceras.

### III. LAS VARIABLES DE HÉNIN COMO INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO EN VERTISOLES

La estabilidad estructural se refiere a la capacidad del suelo para mantener la arquitectura de la fase sólida y la organización del espacio poroso cuando es expuesto a diferentes tipos de estrés (Kay, 1990). Le Bissonais (1996), identificó cuatro mecanismos de desagregación: i) disgregación por compresión del aire ocluido que origina rotura por efecto del estallido; ii) desagregación mecánica debida al impacto de las gotas de lluvia; iii) microfisuración por hinchamiento diferencial y; iv) la dispersión por procesos físico-químicos. Este último ocurre durante la humectación y resulta de la reducción de las fuerzas de atracción entre partículas coloidales (Summer, 1992).

Es amplia la bibliografía internacional y de estudios realizados en diferentes regiones del país donde se

destaca a la estabilidad estructural como variable afectada por el uso del suelo. Si bien se utilizan diferentes métodos de determinación, a nivel local los más utilizados son: De Leenher y De Boodt (1958) y Hénin *et al.* (1958). Este último método se basa en la evaluación de la estabilidad de agregados, donde se examina la estabilidad afectada por la acción del agua que, en las condiciones naturales, revela ser una de las causas principales del deterioro de la estructura de los suelos. Las muestras, compuestas de agregados secos de dimensiones inferiores a 2mm de un mismo horizonte, van a sufrir distintos tratamientos antes de someterse a una fuerte acción del agua: pretratamiento al alcohol etílico, pretratamiento al benceno y sin pretratamiento (llamado pretratamiento al agua), (Mathieu y Pielain, 1998).

- En el pretratamiento testigo, cuando el agua entra abruptamente en los poros llenos de aire, algunos volúmenes de aire se encuentran encerrados y comprimidos entre varios meniscos. Los agregados pueden entonces desagregarse bajo la acción de estas presiones internas (efecto de estallido).
- El pretratamiento al alcohol permite eliminar el aire contenido dentro de los agregados sin causar aumento de la presión interna. El alcohol no causa la compresión del aire al estar empapando la tierra, él expulsa el aire. El agua, miscible al alcohol, toma lentamente su lugar en los agregados; su acción se limita a causar la reducción normal de cohesión vinculada al estado húmedo, favoreciendo pues este solo mecanismo.
- El pretratamiento al benceno resulta del papel de las materias orgánicas sobre la estabilidad de la estructura. En efecto, la fijación del benceno sobre materias orgánicas hidrófobas va a aumentar el carácter hidrófobo, limitando así la acción del agua sobre la desagregación del agregado. Así, después de haber tratado una muestra que no contiene materia orgánica, al introducirse el agua, las partículas se dislocan intensamente. Por el contrario, si la muestra contiene materias orgánicas, éstas fijan el líquido utilizado y se rodean con una película que las protege del contacto del agua, retirándolas así a la acción de este líquido. El tipo de agregados estables después de pretratamiento al benceno es un indicador muy sensible en cuanto al papel protector de las materias orgánicas.

La combinación de los tres pretratamientos en el índice de inestabilidad (Is) permite clasificar globalmente distintos suelos y compararlos entre ellos. Sin embargo, cada uno de los pretratamientos tiene un sentido por sí mismo y es siempre interesante considerar los tres valores separadamente para poder establecer las causas de la inestabilidad estructural de una muestra dada (Mathieu y Pieltain, 1998).

Los Vertisoles de Entre Ríos, presentan alta estabilidad estructural en condiciones naturales, debido al aporte proporcionado por los coloides (Wilson y Cerana, 2004), determinado genéticamente por las elevadas cantidades de sus arcillas esmectitas, al  $\text{Ca}^{+2}$  intercambiable (Conti, 2004) y al alto contenido de materia orgánica. Son afectados severamente por el manejo agrícola que provoca pérdida de materia orgánica y erosión y tienden a magnificar los síntomas de deterioro cuando son puestos en pro-

ducción (So y Cook, 1993; Potter y Gerik, 2001; Cerana *et al.*, 2004a).

El agua subterránea, bicarbonatada sódica, utilizada para el riego en el área arrocerá de Entre Ríos, presenta un desequilibrio entre la relación de adsorción de sodio (RAS) y la salinidad, lo que incrementa el riesgo de su uso (Wilson *et al.*, 2002). La dispersión de las arcillas provocada por el sodio incorporado, se traduce en la inestabilidad del sistema poroso, afectando la entrada de agua y su circulación en el suelo, determinando la proporción de recarga en el suelo, afectando el normal crecimiento de los cultivos (So y Aylmore, 1993).

En un estudio desarrollado a escala regional en el área arrocerá de Entre Ríos, Wilson (2003) evaluó el efecto del sistema de producción de este cultivo sobre la calidad del suelo. Se analizaron muestras de suelos provenientes de 10 sitios, correspondientes a los Departamentos Villaguay, San Salvador y Uruguay. Para la evaluación de la secuencia de historia arrocerá de los sitios, se partió de lotes sin arroz y lotes con diferente participación del cultivo en la rotación donde se utiliza agua de origen subterráneo, bicarbonatada sódica, para el riego. La situación inalterada (área con muy bajo impacto, con condiciones de suelo lo más parecida posible al estado original), fue tomada como referencia para conocer los efectos del sistema productivo sobre las variables de suelo a analizar. El autor observó la pérdida de materia orgánica y el aumento del sodio en el complejo de cambio por efecto del cultivo, efecto que se acentúa cuando la participación del arroz es mayor en la rotación.

Producto de este estudio, Cerana *et al.* (2004a) y Bancharo (2003) evaluaron, en un sistema de producción de arroz bajo riego de origen subterráneo, variables físicas, físico-químicas y químicas del suelo, a fin de seleccionar aquellas que mostraran mayor sensibilidad al efecto del uso arrocerá. Producto de esta investigación, los autores recomiendan como indicadores para evaluar el impacto del sistema arrocerá sobre el suelo, las siguientes variables: % de agregados estables al benceno, % de agregados estables promedio, Is (índice de inestabilidad), índice K de percolación de Hénin, CSI (contenido de sodio de intercambio), pH (reacción del suelo medido en el extracto de saturación) y RASes (relación de adsorción de sodio del extracto de saturación). Estas variables resultaron ser indicadores de deterioro; e incluso de la recuperación de la condición del suelo y fueron tomadas como indicadores dentro de un set o conjunto de datos mínimos (CDM) para evaluar los efectos del sistema de producción de arroz a nivel de predio.

Los agregados estables al benceno y agregados promedios, relacionados a la materia orgánica, y el K de percolación, afectado por el sodio de intercambio; fueron muy sensibles y mostraron que la participación del arroz en menos del 20% en la rotación, no produce deterioros significativos en la calidad del suelo, respecto a lotes agrícolas sin arroz (Figura

1.44). En el mismo sentido, mediciones al cuarto año en un ensayo en que se compararon diferentes rotaciones agrícolas con arroz y una con pastura, el índice de inestabilidad (Is) aumentó con el uso agrícola y principalmente con la intensidad de uso arrocero por las razones explicadas anteriormente (De Battista, 2004).

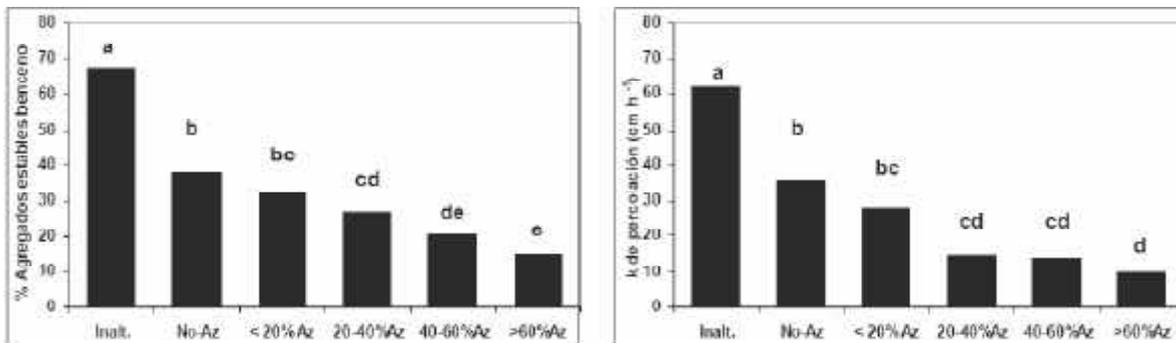


Figura 1.44. Efecto del uso arrocero sobre la estabilidad de agregados y la permeabilidad de los suelos (Cerana *et al.*, 2004a).

El CDM se ha utilizado exitosamente en evaluaciones del efecto del uso agrícola en Vertisoles, teniendo al arroz como base de las rotaciones, usando para el riego agua, tanto de origen subterráneo como superficial (Wilson *et al.*, 2004a, 2004b y 2005). Para el primer caso y a partir de la información generada del análisis de los indicadores de calidad, el manejo de estos suelos con larga historia arrocera debería perseguir dos premisas básicas para lograr que el sistema de producción sea sustentable: i) incrementar los tenores de materia orgánica y; ii) reducir los ingresos de sodio.

En el primer caso, la inclusión de pasturas en las rotaciones, ha permitido mantener los valores de los indicadores de calidad de suelo cercanos a los iniciales (Morón, 2003; De Battista, 2004). La utilización de agua para riego de buena calidad, como así también la utilización de una enmienda química (como el caso del yeso), pueden ser efectivos para reestablecer la estructura y la conductividad hidráulica del suelo (Wallace, 1994).

Para ello, una rotación que incluya 50% a 60% de pasturas y 40% a 50% de agricultura con una participación del arroz en la rotación inferior al 20 a 25%, sería lo más aconsejable. Para el caso del riego con agua de ríos, arroyos o embalses, la participación de este cultivo podría ser mayor, ya que los efectos sobre el suelo son importantes al modificarlos de su condición inalterada a cultivados. Por otra parte, los valores nuevamente adquiridos son buenos, a pesar de ser significativamente inferiores a la condición inalterada. En tal sentido, la estabilidad estructural de estos suelos no se modifica significativamente en los primeros 7 años de historia agrícola, al aumentar la participación del cultivo de arroz en la rotación.

Para una eficiente utilización de la técnica del enyesado se deben considerar varios aspectos: la dosis y fecha de aplicación, como así también la necesidad de contar con buena disponibilidad de agua en el suelo para lograr la solubilización del yeso y la eliminación del exceso de sodio de la solución del suelo. Resultados de un ensayo donde la finalidad fue comprobar la recuperación del estado físico de Vertisoles con uso arrocero a partir del desplazamiento del sodio adsorbido a las arcillas y la floculación del coloide por acción del yeso, a través del calcio, se demostró que tanto el índice K de percolación y los agregados estables al alcohol reflejaron dicha recuperación (Cerana *et al.*, 2004b).

En el K de precolación se observó una rápida respuesta (al primer mes), diferenciándose la dosis más alta (6000kg $ha^{-1}$ ), del resto. Durante el ensayo, el testigo se mantuvo en valores cercanos a 5cm $h^{-1}$  y la dosis de 3000kg $ha^{-1}$  se logró diferenciar de las dosis menores a los doce meses. Las diferencias entre tratamientos se mantuvieron a partir de dicha fecha y fueron máximas a los 18 meses, demostrando que esta variable constituye un buen indicador de la recuperación del suelo. El tratamiento con yeso, permite reestablecer la estructura superficial y el sistema poroso del suelo, mejorando la conductividad del agua y del aire a capas más profundas. El índice de inestabilidad (Is), mostró que el tratamiento testigo presentó peores condiciones del suelo (mayores valores), pero no se reflejaron diferencias entre los tratamientos con yeso al final del ensayo.

Observando lo que ocurrió entre los pretratamientos de agua, alcohol y benceno, el que presentó mayor sensibilidad fue este último. A partir de los seis meses de aplicado el yeso, la dosis mayor se dife-

rencia del resto, manteniendo valores superiores al 50%, mientras que no se observaron diferencias entre el resto. El mejor comportamiento de esta variable, se debe a que, al tratarse de una enmienda química, se produce un mejor control del hinchamiento de los coloides (Amézketa, 1999). Distinto es lo que ocurre en los agregados estables al benceno, ya que se presentan los valores muy aleatorios, diferenciándose las variables solo al final del ensayo. Dicha variable está asociada a la materia orgánica (Hénin *et al.*, 1972; Orellana y Pilatti, 1994), es decir que aquellas prácticas agrícolas que permitan incrementar sus niveles, podrán ser reflejadas por dicha variable.

#### IV. CONSIDERACIONES FINALES

- La medición de la resistencia mecánica a la penetración con equipamiento de alta precisión y capacidad de almacenamiento de datos a campo, permitió obtener perfiles de isoresistencia y curvas de calibración en función del contenido hídrico del suelo. Acompañado por la descripción del perfil cultural, se logró caracterizar la compactación y sus efectos.
- La utilización de las variables de Hénin reflejaron los efectos sobre la estructura del suelo. Cada una de estas se comporta en forma diferente según el origen de la acción desestabilizante. Así, la pérdida de materia orgánica afectó a los agregados estables al benceno y al índice de inestabilidad, mientras que el aumento en el contenido de sodio de intercambio a causa del agua de riego utilizada, provocó la caída del K de percolación. A su vez, la utilización de enmiendas químicas, como el caso del yeso, permitió la recuperación de los agregados estables al alcohol. Por lo tanto, el análisis en forma integral de dichas variables, demuestra la potencialidad de estas como indicadores.
- Se proponen las técnicas de medición enunciadas para su validación en el sistema de siembra directa y en sistemas que incluyan riego en Vertisoles.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Al Dr. René Benavidez y los integrantes del Proyecto FONCYT Sustentabilidad del Cultivo de Arroz en la provincia de Entre Ríos por su colaboración. Al FONCYT, la UNER, INTA y PROARROZ por su contribución al financiamiento de los trabajos.

#### VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMÉZKETA, E. 1999. *Soil aggregate stability: A Review*. Journal of Sustainable Agriculture 14 (2/3): 831-50.
- AYERS, P.D. and BOWEN, H.D. 1987. *Predicting soil density using cone penetration resistance and moisture profile*. ASAE Trans. 30: 1331-1336).
- BADAWAY, N.S. 1979. *Effect of profile morphology on the productivity of non-irrigated sunflowers from two Wimmera clays* J. Aust. Inst. Agric Sci 45. pp.199-200.
- BANCHERO, A.C. 2003. *Resiliencia y resistencia de los suelos Vertisoles ante el disturbio provocado por el sistema de producción de arroz*. Trabajo Final de Graduación FCA UNER. 88p.
- BENAVIDEZ, R. 2004. *La cultura del arroz irrigado*. In: "El arroz, Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos". CAPÍTULO III. Director R. Benavidez. UNER UNL En prensa. 12p.
- BRASHER, B.R.; FRANZMEIER, D.P.; VALASSIS, V. and DAVIDSON, S.E. 1966. *Use of Saran Resin to Coat Natural Soil Clods for Bulk-Density and Water-Retention Measurements*. Soil Science, Vol. 101. p.108.
- BUTLER, B.E. and HUBBLE, G.D. 1977. *Morphological properties*. Chap.2, in Soil factors in crop production in a semi-arid environment. Russel, J.S.; Greacen E. L. (Eds.). Univ. Queensl. Press. St Lucia Queensland Australia.
- CASS, A.; GUSLI, S. and Mc LEOD, D.A. 1994. *Sustainability of soil structure quality in rice paddy – soyabean cropping system in South Sulawesi, Indonesia*. Soil and Tillage Research, 31: 339-352.
- CASTIGLIONI, M.G.; MORRÁS, H.; SANTANATOGLIA, O.J. y ALTINIER, M.V. 2004. *Análisis de la contracción de agregados de distintos horizontes de Argiudoles de la Pampa ondulada*. XIX Congreso Argentino Ciencias del Suelo. Paraná, Entre Ríos (Trabajo en CD 10p).
- CERANA, J.A., RIVAROLA, S.E. y DE PETRE, A. 1983. *Evaluación de la extensibilidad en suelos de destacada actividad físico química*. Actas X Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Mar del Plata Octubre 1983. p.129.
- CERANA, J.; DE BATTISTA, J.J.; POZZOLO, O.; RIVAROLA, S.; ARIAS, N.; WILSON, M. y BENAVIDEZ, R. 2002. *El perfil cultural de sue-*

- los arrozeros*. XVIII Congreso Argentino Ciencias del Suelo. Pto. Madryn, Chubut. p.79. (Trabajo en CD 6p).
- CERANA, J.; WILSON, M.; NOIR, J. y QUNTERO, C. 2004a. *Estabilidad estructural de suelos vertisólicos en el sistema arrocero regado con agua subterránea*. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 12p. En revisión.
- CERANA, J.; WILSON, M.; ZINO, L.; QUINTERO, C.; RIVAROLA, S.; HENDERSON, O.; VERLIAC, J. y NOIR, J. 2004b. *Utilización del yeso para recuperar suelos de larga historia arrocera*. Revista Fundación Proarroz. Resultados experimentales. XIII: 89-102.
- CONTI, M. 2004. *Efectos del uso agrícola sobre suelos vertisólicos*. Revista Científica Agropecuaria 8 (1): 31-36.
- COULOMBRE, C.E.; WILDING, L.P. and DIXON, J.B. 1996. *Overview of Vertisols: Characteristics and impacts on society*. Adv. Agron. 57: 289-375.
- DE BATTISTA, J.J. 2004. *Manejo de Vertisoles de Entre Ríos*. Revista Científica Agropecuaria 8 (1): 37-43.
- DE LEENHER, L. and DE BOODT, M. 1958. *Determination of aggregate stability by the change in mean Weight diameter*. Inter. Symp. On Soil Structure. Medeligen Rykslandbouwhogesechool, Gent. Belgie, 24: 290-300.
- DORAN, J.W. and PARKIN, T. 1994. *Defining and assessing soil quality*. Soil Science Society of America 677: 3-21.
- DORAN, J.W. and SAFLEY, M. 1997. *Defining and assessing soil health and sustainable productivity*. In: Biological indicators of soil health. Pankhurst, C.; Doube, B. M.; Gupta, V. V. S. R. (Eds.). CAB International. pp.1-28.
- EHLERS, W.; KOPKE, U.; HESSE, F. and BOHM, W. 1983. *Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil*. Soil & Tillage Research, 3: 261-275.
- GREACEN, E.L. and HIGNETT, C.T. 1979. *Sources of Bias in the field calibration of a NMM* AJSR 17 405-15.
- GREACEN, E.L. 1981. *Soil water assessment by the neutron method*. CSIRO. 138p.
- GREACEN, E.L. and GARDNER, E.A. 1982. *Crop behaviour on clay soils*. Trop. Agric. (Trinidad). 59 (2): 123-132.
- GREGORICH, E.G.; CARTER, D.; ANGERS, C. and ELLERT, B. 1994. *Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soils*. Can. J. Soil Sci. 74: 367-385.
- HADAS, A.M. 1994. *Soil Compaction Caused by High Axle Loads-Review of Concepts and Experimental Data*. Soil & Tillage Research 29 (2-3): 253-276.
- HÉNIN, S.; MONNIER, G. et COMBEAU, A. 1958. *Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols*. Ann. Agron. 9: 73-92.
- HÉNIN, S.; GRAS, R. y MONNIER, G. 1972. *El perfil cultural, el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas*. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. p.340.
- HEREDIA, O.S. 2000. *Aptitud de algunos suelos vérticos para uso bajo riego complementario*. Rev. Facultad de Agronomía. 20 (1): 91-97.
- HILLEL, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, Inc. 525 B Street, Suit 1900, San Diego, CA 92101-4495.
- KARLEN, D.L.; EASH, N.S. and UNGER, P.W. 1992. *Soil and crop management effects on soil quality indicators*. American Journal of alternative agriculture 7 (1; 2): 48-55.
- KARLEN, D.L.; GARDNER, J.C. and ROSEK, M.J. 1998. *A soil quality framework for evaluating the impact of CRP*. J. Prod. Agr. 11 (1): 56-60.
- KAY, B.D. 1990. *Rates of change of soil structure under different cropping systems*. Adv. Soil Sci., 12: 1-41.
- LAL, R. 1997. *Degradation and resilience of soils*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 352: 997-1010.
- LARSON, W. and PIERCE, F. 1994. *The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management*. Soil Science Society of America 677: 37-51.
- LE BISSONNAIS, Y. 1996. *Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability*. I. Theory and methodology. European J. Soil Sci., 47: 425-437.
- LETEY, J. 1985. *Relationship between soil physical properties and crop production*. In: Advances in Soil science. Volume I. Edited by B.A. Stewart. Springer-Verlag New York, Inc. pp.277-294.
- MATHIEU, C. et PIELTTRAIN, F. 1998. *Analyse physique des sols: Méthodes choisies*. Lavoisier Tec. Doc. Paris, London, New York. 275p.

- Mc GARRY, D. and MALAFANT, K.W. 1987. *The analysis of volume change in unconfined units of soil*. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 290-297.
- MORÓN, A. 2003. *Principales contribuciones del experimento de rotaciones cultivos – pasturas de INIA La Estanzuela, en el área de fertilidad de suelos (1963-2003)*. Simposio 40<sup>a</sup> años de rotaciones agrícolas – ganaderas. Uruguay, INIA Serie Técnica 134: 1-7.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1993. *Soil and water quality*. An Agenda for Agriculture. National Academy Press, Washington, D.C.
- NYAMUDEZA, P.; HUSSEIN, J. and MATIBIRI, B. 2001. *Vertisols Management in Zimbabwe*. In: Syes, J.; Penning de Vries, F.; Nyamedeza, P. The Sustainable Management of Vertisols. CABI Publishing, U.K. pp.139-153.
- ORELLANA, J. 1987. *Relación entre la densidad aparente de un Bt2 y sus contenidos hídricos correspondientes*. En Informe PID Modificaciones del perfil cultural. 76p.
- ORELLANA, J. y PILATTI, M. 1994. *La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad*. Ciencia del Suelo 12: 75-80.
- POTTER, K. and GERIK, T. 2001. *The Vertisols of Texas*. In: Syes, J.; Penning de Vries, F.; Nyamedeza, P. The Sustainable Management of Vertisols. CABI Publishing, U.K. pp.267-279.
- POZZOLO, O.; CISNEROS, R. y HERRERA, M. 1996. *Efecto del tránsito inundado*. Neumático arrocero de tacos profundos. Congreso Internacional de Ingeniería Rural. 1:135-140.
- POZZOLO, O.; WILSON, M.; DE BATTISTA, J.J. y CERANA, J. 2001. *El tránsito de maquinaria en suelos inundados*. Efectos sobre la impedancia en el perfil edáfico. IV Congreso internacional de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile. 5p.
- POZZOLO, O.; CERANA, J.; DE BATTISTA, J.J.; WILSON, M.; RIVAROLA, S. y FONTANINI, P. 2002. *Penetrometría en Vertisoles. Ajuste metodológico*. CADIR 2002. Mar del Plata. 8p. en CD.
- RITCHIE, J. T.; KISSEL, D. E. and BURNETT, E. 1972. *Water movement in undisturbed swelling clay soil*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 1972; 36: 874-879.
- RUSSELL, S.; IGUE, K. and MEHTA, Y. 1981. *The soil/root system in relation to Brazilian Agriculture*. Fundacao Instituto Agronomico do Paraná. 372p.
- SEYBOLD, C.A.; MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L. and ROGERS, H.H. 1998. *Quantification of soil quality*. In: Soil processes and the carbon cycle. Lal, R.; Kimble, J.; Follett, R.; Stewart, B. (Eds.). CRC Press, Boca Ratón, Fl. pp.387-404.
- SO, H.B. and AYLMORE, L.A.G. 1993. *How do sodic Soils Behave? The effects of sodicity on soil physical behaviour*. Aust. J. Soil Res. 31: 761-778.
- SO, H.B. and COOK, G.D. 1993. *The effect of slaking and dispersion on the hydraulic conductivity of clay soils*. In: Soil Surface sealing and crusting. Poesen, J.W.A.; Nearing, M.A. (Eds.). Cremlingen, Germany. Catena Supplement 24: 55-64.
- SUMMER, M.E. 1992. *The electrical double layer and clay dispersion*. In: Summer, M. E.; Stewart, B. A. (Eds.). Advances in Soil Science. Lewis Publishers. Boca Ratón. MI. USA. 372p.
- VIGLIZZO, E.F. 1996. *La sustentabilidad en agricultura. ¿Cómo evaluar y medir?* INTA, Argentina. RIA 26 (1): 1-15.
- WALLACE, A. 1994. *Use of gypsum on soil where needed can make agriculture more sustainable*. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25 (1; 2). pp.109-116.
- WILDING, L.P. and TESSIER, D. 1988. *Genesis of Vertisols: shrink-swell phenomena*. In: Wilding L.P.; Puentes, R. (Eds.). Vertisols: Their properties, classification and management. Texas A and M University Printing Center, College Station (TX). pp.51-58.
- WILSON, M.; VALENZUELA, O.; PILATTI, M.A. y FELLI, O. 2000. *Relación entre el contenido hídrico y la resistencia a la penetración en un suelo con características vérticas*. Revista Facultad de Agronomía UBA. 20 (1): 69-73.
- WILSON, M.; CERANA, J.; VALENTI, R.; DÍAZ, E.; DUARTE, O.; DE BATTISTA, J.J.; RIVAROLA, S. y BENAVIDEZ, R. 2002. *Evaluación de la calidad del agua para riego en el área arrocera de Entre Ríos*. Cuadernos del CURIHAM (8) N°1. pp.31-39.
- WILSON, M. 2003. *Efecto del sistema de producción de arroz sobre la calidad del suelo en Entre Ríos, Argentina*. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Río Cuarto. 88p.
- WILSON, M. y CERANA, J. 2004. *Mediciones físicas en suelos con características vérticas*. Revista Científica Agropecuaria. 8(1):11-22.

- WILSON, M.; SIONE, S.; QUINTERO, C. y CERANA, J. 2004a. *Impacto del incremento en la participación del arroz en la rotación sobre la calidad de un Vertisol de Entre Ríos*. Revista Científica Agropecuaria 8(1): 109-116.
- WILSON, M.; BARRAL, G.; DÍAZ, E.; DUARTE, O. y VALENTI, R. 2004b. *Estado estructural de suelos arroceros regados con agua de embalse en Entre Ríos*. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. 6p en CD.
- WILSON, M.; PAZ GONZÁLEZ, A.; QUINTERO, C.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; DÍAZ, E. y CERANA, J. 2005. *Distribución de poros en un suelo vertisólico de uso arrocero*. Revista Científica Agropecuaria. 8p. En Revisión.
- YULE, D.F. and RITCHIE, J.T. 1980. *Soil shrinkage relationships of Texas Vertisols*. I. Small cores. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 44(6):1285-1291



# RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN COMO INDICADOR DE COMPACTACIÓN EN ENSAYOS DE LARGA DURACIÓN BAJO SIEMBRA DIRECTA EN MARCOS JUAREZ

*por Cristian Cazorla;  
Beatriz Masiero*  
INTA Marcos Juárez, Argentina

## I. INTRODUCCIÓN

La compactación del suelo resulta por un cambio en su volumen causado por fuerzas, que pueden originarse por fuentes mecánicas como maquinarias, o por fuentes naturales como secado y humedecimiento (Harris, 1971).

La compactación afecta negativamente la capacidad de emergencia de las raíces, almacenamiento de agua en el suelo, eficiencia del uso del agua por los cultivos, rendimientos (Radford *et al.*, 2001), características de crecimiento de los cultivos, toma de nutrientes (Lowery, Schuler, 1991) y desarrollo y distribución de raíces (Taylor, Gardner, 1963). En suelos compactados se reduce la habilidad de las raíces para extraer agua y nutrientes (Brye *et al.*, 2005).

La fuerza requerida para introducir un cono a través del suelo puede utilizarse para evaluar la compactación (Lowery, Schuler, 1991). Este método informa sobre una propiedad del suelo que es conocida como resistencia a la penetración (RP), que es el conjunto de fuerzas desarrolladas por el suelo que se oponen a su deformación ante el crecimiento de órganos vegetales. La RP se caracteriza a través del Índice de cono (IC), que es el valor medio de un número de mediciones para una profundidad predeterminada. Se asume que el valor crítico de RP para la penetración de raíces es de 2Mpa (Gupta; Allmaras, en Taboada *et al.* 1998).

Letey (Martino, 2001) analizó la relación entre las propiedades físicas del suelo y la productividad de

los cultivos y estableció que si bien un gran número de variables tienen influencia en el crecimiento de las raíces, éstas, están influenciadas por cuatro propiedades fundamentales: resistencia mecánica, disponibilidad de agua, oxígeno y energía.

El método más usado para la determinación de los valores es el penetrómetro de cono, que permite realizar muchas mediciones rápidamente y compensar el efecto de la muy alta variabilidad horizontal de los suelos agrícolas (Jorajuría; Collazo, 2004). Una desventaja de estos instrumentos es que no pueden simular la acción de la raíz, ya que cuando ésta se encuentra con un impedimento, se desplaza hasta encontrar una grieta o un lugar de fácil penetración.

#### ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

Las variables que inciden en la RP son: densidad aparente (DA), contenido de humedad, textura y contenido de materia orgánica (Martino, 2001). La RP aumenta al hacerle la densidad aparente y disminuye al aumentar el contenido de humedad, siendo este efecto más acusado cuando es mayor el contenido de arcilla (Cerisola, 2004). Si se mantiene constante la DA, la RP aumenta con la profundidad, ya que crece el valor de la sobrecarga que soporta el suelo y disminuye el contenido de materia orgánica (Sands *et al.* 1979, en Cerisola 2004).

La susceptibilidad a la compactación se reduce cuando aumenta el contenido de materia orgánica (Díaz Zorita, Grosso, 2000). La presencia de materia orgánica reduce la DA de los suelos debido a la combinación de diferentes procesos como dilución, agregación de partículas, elasticidad y fricción (Seone 1990, en Díaz Zorita, Grosso, 2000). El efecto de la materia orgánica es más importante en suelos de mayor susceptibilidad a la compactación (Zhang, 1997). Suelos de textura fina se comportan como más susceptibles a la compactación, debido a que tienen mayor porosidad que suelos de texturas gruesas (Harris, 1971).

Hay una alta relación entre los valores de resistencia a la penetración y contenido de humedad. Podemos citar trabajos de otros autores, entre ellos Cerana *et al.* (2004), que encontraron una ecuación exponencial con un ( $R^2= 0.70$ ) para suelos Vertisoles. Lapen *et al.* (2004) encontraron que hay una buena relación ( $R^2= 0.66$ ) entre resistencia a la penetración y contenido de humedad, para suelos sin labranzas y que para suelo trabajados, esta relación no es tan buena porque cambia durante la temporada de crecimiento. En suelos trabajados existe una interacción entre RP, humedad y días después de la siembra (DDS). Esta relación se

estabiliza alrededor de los 90 días después de la siembra.

Diferencias en la textura, densidad aparente, humedad y materia orgánica pueden variar considerablemente dentro del terreno, por lo que es necesario llevar a cabo repetición de mediciones para obtener valores representativos. Además, hay variación temporal de la humedad del suelo. Con suelo seco los rangos de variación de RP son elevados, mientras que en húmedo la variabilidad es muy baja, por lo que se recomienda realizar mediciones en condiciones próximas a capacidad de campo (Cerana *et al.*, 2004).

Las características de los instrumentos de medición, también varían los valores de RP. Para Freitag (Jorajuría, Collazo, 2004) el diámetro de la varilla, rugosidad del cono y velocidad de penetración inciden incrementando la RP, mientras que otros como el ángulo del cono y el diámetro de la base, inciden inversamente. En cuanto al ángulo, según Gill (Jorajuría, Collazo, 2004), la RP disminuye si el ángulo está comprendido entre  $7.5$  y  $30^\circ$  y luego se incrementa hasta  $60^\circ$ .

El índice de cono representa características combinadas de corte y compresión, tensión y fricción suelo metal, variando todos ellos con el contenido de humedad presente. Por otro lado, la formación de capas compactadas que se adhieren al cono, cambian su geometría y por lo tanto las relaciones entre la resistencia a la penetración y el suelo cambian (Jorajuría, Collazo, 2004).

Por todos los conceptos vistos, un análisis preciso de los valores de RP y su variación es complejo. En primer lugar, las variables que determinan el comportamiento de la RP tienen distinta variabilidad espacial y temporal, presentan interacciones entre sí y no es fácil distinguir cuál de ellas está influenciando más sobre las propiedades del suelo. Por otra parte, los instrumentos de medición elegidos o disponibles para realizar las mediciones presentan distintos factores (área y diámetro del cono, diámetro de la varilla, etc.) que inciden en los valores de resistencia registrados. Es importante realizar una estandarización de las condiciones de muestreo para hacer comparables los valores de distintas situaciones.

## PROCESOS ANTRÓPICOS (LABRANZAS Y TRÁFICO DE MAQUINARIAS) DE COMPACTACIÓN DE SUELOS

El sistema de siembra directa (SD), al no remover el suelo se comporta como susceptible a la compactación, debido a la consolidación natural de las partículas y al tráfico de las maquinarias (Marelli, Arce, 1996).

Los suelos en SD, mediante el efecto de las raíces y de la actividad biológica, asociado a procesos de humectación y desecamiento, tienen la capacidad de recuperar la estructura. Este proceso, que depende de las características de cada lote (cobertura, materia orgánica) puede demorar varios años (Gerstert, Bacigaluppo, 2004).

Varios autores encontraron que la estructura de suelos franco limosos mejora con el tiempo durante la transición de labranza intensiva a labranza cero. Ramírez Pisco *et al.* (2004), encontraron que la SD generó mayores contenidos de materia orgánica, estabilidad de agregados, conductividad hidráulica y macro porosidad. Sin embargo, esta mejora se hace evidente en condiciones de campo a los 16 años, corroborando la escasa resiliencia de suelos limosos. También Wilkins *et al.* (2002), encontraron que la estructura de suelos franco limosos mejora con el tiempo durante la transición de labranza intensiva a labranza cero. Los valores de índice de cono por debajo de la capa arable (18cm) se incrementan en los primeros años de labranza cero, pero después de 17 años de ensayos los valores entre labranza cero y labranza intensiva por debajo de la capa arable no difieren estadísticamente.

En cambio Hill *et al.* (1985), encontraron que en los primeros años de un ensayo de sistemas de labranzas no había diferencias entre los sistemas de labranzas y sí aparecían estas diferencias en un ensayo de labranzas de 8 años de duración.

El objetivo de este trabajo es evaluar la compactación del suelo a través del índice de cono en:

- Ensayos de larga duración bajo SD con secuencias de cultivos.
- Tres sistemas de labranza: Labranza Convencional (LC), Labranza Reducida (LR) y Siembra Directa (SD).
- SD en distintas fechas en la secuencia Trigo/Soja comparada con una situación prístina (parque de la estación meteorológica).

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el campo experimental de la estación experimental agropecuaria INTA Marcos Juárez, ubicada en el sudeste de la provincia de Córdoba. El suelo es clasificado como Argiudol típico de textura franco limosa, con 68.9% de limo, 25.1% de arcilla y 5.6% de arena.

Las determinaciones de resistencia a la penetración se realizaron con un penetrómetro digital EIJKELKAMP, que tiene un registrador compuesto por un visor digital y una célula de deformación, que es la encargada de registrar los valores en unidades de presión en Mega Pascales (MPa). El registrador está unido mediante una varilla a una punta cónica que el operario introduce en el suelo a una velocidad de inserción constante de 2cm/seg. Los conos utilizados en este estudio tienen 1cm<sup>2</sup> de área y un ángulo de 60°. Los datos son suministrados con una resolución de 1cm.

El contenido de humedad en porcentaje (%H) se determinó gravimétricamente en estufa, con muestras de suelo extraídas con barreno compuestas por 2 lugares. Se realizó un análisis de la varianza y las medias fueron comparadas por el test LSD Fisher.

## III. ENSAYOS DE LARGA DURACIÓN BAJO SIEMBRA DIRECTA CON SECUENCIAS DE CULTIVOS

El estudio se desarrolla en el ensayo de Secuencias de Cultivos (Lattanzi; Marelli; Arce). El ensayo tiene un diseño experimental en parcelas divididas con dieciséis secuencias de cultivos y dos repeticiones. Cada parcela se divide en sub-parcelas, fertilizadas y no fertilizadas. El ensayo se inició en el año 1975 (Lattanzi) y hasta 1992/1993 se hacía en labranza convencional y sólo se hacía SD en soja de segunda. A partir de ese año se comienza a hacer SD en todos los cultivos. El tamaño de las parcelas es de 90m de largo y 14.5m de ancho. Los cultivos que participan en las secuencias son: trigo, soja, maíz, girasol y sorgo.

En julio de 2004, después de la cosecha de los cultivos, se efectuaron en las sub-parcelas fertilizadas 10 registros por repetición para obtener el Índice de cono. Las mediciones se distanciaron 1 metro en una línea transversal sobre la línea de siembra. El índice de cono se dividió en las siguientes profundidades: 0-5cm, 6-10cm, 11-15cm, 16-20cm, 21-25cm y 26-30cm y el % de humedad se determinó para las profundidades 0-15cm y 16-30cm.

Se muestran los resultados de los tratamientos que tienen secuencias de cultivos características de la zona en estudio. Las secuencias son Soja-Soja (S-S), Tri-

go/Soja-Soja (T/S-S), Trigo/Soja (T/S), Maíz-Soja (M-S), Maíz-Trigo/Soja (M-T/S) y Maíz-Maíz (M-M).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los menores valores de RP se encontraron en la profundidad 0-5cm y los mayores en la profundidad

26-30cm (**Cuadro 1.39**). En todas las secuencias hay un aumento abrupto al pasar de los primeros 5cm a los 10cm y después los aumentos son más suaves. En las secuencias Maíz-Trigo/Soja y Maíz-Maíz después de los 5cm se estabiliza el valor de RP. Ningún valor medio superó el límite crítico de 2MPa.

**Cuadro 1.39.** Valores de Índice cono y test de comparación de medias LSD Fisher, para 6 profundidades.

RP Media MPa Secuencia	Profundidad (cm)					
	0 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	26 - 30
<b>S - S</b>	0.64 a	1.20 b	1.02 a	1.15 a	1.32 b	1.47 b
<b>M - S</b>	0.60 a	1.09 ab	1.19 a	1.18 a	1.34 b	1.52 b
<b>T/S</b>	0.58 a	1.20 b	1.20 a	1.23 a	1.15 a	1.10 a
<b>T/S - S</b>	0.59 a	1.02 a	1.13 a	1.17 a	1.04 a	1.21 a
<b>M - T/S</b>	0.68 a	1.08 ab	1.07 a	1.11 a	1.09 a	1.12 a
<b>M - M</b>	0.55 a	1.09 ab	1.05 a	1.09 a	1.08 a	1.10 a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Los valores medios de resistencia no manifiestan un impedimento para el crecimiento de las raíces, pero los valores individuales de los registros sí muestran valores superiores al límite crítico

(**Cuadro 1.40**). Por debajo de los 15 centímetros de profundidad la secuencia Soja-Soja presenta más zonas con restricciones para el crecimiento de las raíces.

**Cuadro 1.40.** Cantidad de Zonas con valores de resistencia por encima de los 2Mpa.

Secuencia	Profundidad (cm)		
	16 - 20	21 - 25	26 - 30
<b>S - S</b>	1	2	4
<b>M - S</b>	-	-	1
<b>T/S</b>	-	-	-
<b>T/S - S</b>	1	-	1
<b>M - T/S</b>	1	-	-
<b>M - M</b>	-	-	-

Los contenidos de humedad de los tratamientos no fueron diferentes estadísticamente para la pro-

fundidad 0-15cm y si fueron diferentes en la profundidad 16-30cm (**Cuadro 1.41**).

**Cuadro 1.41.** Contenido de humedad gravimétrico (H%) y test de comparación de medias LSD Fisher.

Secuencia	H (%) 0-15 cm	H (%) 16-30cm
<b>S - S</b>	27.71 a	26.71 ab
<b>M - S</b>	27.53 a	26.55 ab
<b>T/S</b>	27.41 a	26.09 a
<b>T/S - S</b>	27.57 a	25.90 a
<b>M - T/S</b>	28.03 a	27.56 b
<b>M - M</b>	27.50 a	26.01 a

En la **Figura 1.45**, se presenta el perfil de resistencia a la penetración de tres rotaciones típicas de la zona, que tienen valores contrastantes. Puede verse que la rotación que tiene maíz mantiene un perfil más homogéneo que las otras secuencias de cultivos.

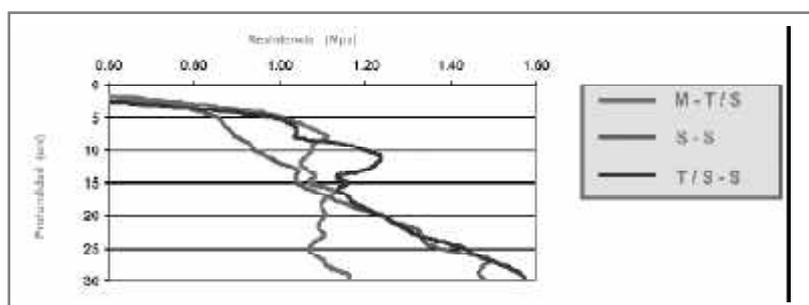


Figura 1.45. Perfil de resistencia para tres secuencias de cultivos.

valores individuales que superan este valor, por lo que un mapa de iso resistencia sería más adecuado para caracterizar zonas que presenten restricciones para la exploración de las raíces. También habría que considerar que con menores contenidos de humedad podrían aparecer más zonas con restricciones para el desarrollo de las raíces.

La inclusión de otras variables tales como infiltración, estabilidad de agregados, distribución de tamaño de poros, ayudarían a caracterizar mejor el perfil del suelo.

#### IV. RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN ENSAYO DE LABRANZAS EN LA SECUENCIA TRIGO/SOJA

El estudio se desarrolla en el ensayo de labranzas Trigo-Soja (Marelli, Arce) que tiene un diseño experimental en parcelas divididas con seis tratamientos y tres repeticiones. Cada parcela se divide en sub-parcelas fertilizadas y no fertilizadas. Cada parcela mide 14m x 50m. Se evaluaron los siguientes tratamientos:

- B, trigo con labranza reducida/soja con labranza convencional,
- C, trigo con labranza reducida/soja en directa, y
- F, trigo en directa/soja en directa

Las rotaciones con maíz presentan menores valores de resistencia a la penetración y perfiles de resistencia menos variables. Si bien los valores medios no muestran valores por encima del límite crítico para el desarrollo de raíces, se encuentran

El ensayo se inició en el año 1975 (Marelli) y en el tratamiento F el trigo se sembraba con labranza convencional hasta 1993/1994 y a partir de ese año se comienza a hacer en SD.

En enero de 2005, con el cultivo de soja en estadio V4, en las parcelas fertilizadas se tomaron 20 registros por repetición para obtener el Índice de cono (IC). Se tomaron 4 surcos contiguos, con 5 mediciones por surco separadas a una distancia de 1 metro sobre la línea de siembra. El Índice de cono y el porcentaje de humedad se determinaron para las siguientes profundidades: 0-5cm, 6-10cm, 11-15cm, 16-20cm y 21-30cm. Por cuestiones operativas, las determinaciones se realizaron solo en las repeticiones 2 y 3.

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el **Cuadro 1.42** se presenta un resumen del test F de significación de los análisis de variancia de la RP. Se puede ver un efecto muy significativo de la interacción tratamiento x repetición para las dos primeras profundidades, que luego comienza a desaparecer. Esto podría estar explicado porque las repeticiones presentaban diferentes contenidos de humedad (**Cuadro 1.43**) y la humedad es determinante en los valores de Índice de cono.

Cuadro 1.42. ANOVA para IC en los tratamientos.

Profundidad (cm)	Contenido de humedad (%)		
	Tratamiento (p>F)	Repetición (p>F)	Trat * Rep (p>F)
0 - 5	0.206	0.153	0.0006
6 - 10	0.105	0.188	0.001
11 - 15	0.040	0.131	0.040
16 - 20	0.012	0.060	0.530
21 - 30	0.166	0.139	0.230

**Cuadro 1.43.** Porcentaje de Humedad para las repeticiones y sistemas de labranzas.

Profundidad (cm)	Contenido de humedad (%)					
	LC		LR		SD	
	R2	R3	R2	R3	R2	R3
0 - 5	32.65	28.41	31.36	31.68	36.78	32.44
6 - 10	29.90	27.93	28.76	26.77	26.41	27.05
11 - 15	30.25	26.05	25.38	24.68	25.11	28.54
16 - 20	25.65	25.14	26.13	26.46	26.01	30.94
21 - 30	25.53	27.81	27.92	27.69	24.31	31.88

Repetición 2 (R2), Repetición 3 (R3).

Los mayores valores de Índice de cono se encontraron en la última profundidad, para los tres tratamientos. Las diferencias estadísticamente significativas aparecen desde los 10 a 20 centímetros y el tratamiento LC difiere de los tratamientos LR y

SD (**Cuadro 1.44**). Hay menores valores de desvíos estándar para LC que LR y ésta menos que SD, lo que está explicado por la remoción del suelo en LC que hace más homogéneo el perfil. Ningún valor supera el límite crítico para el crecimiento de las raíces.

**Cuadro 1.44.** Medias, desvíos estándar y test de medias de tratamientos LSD para cada profundidad

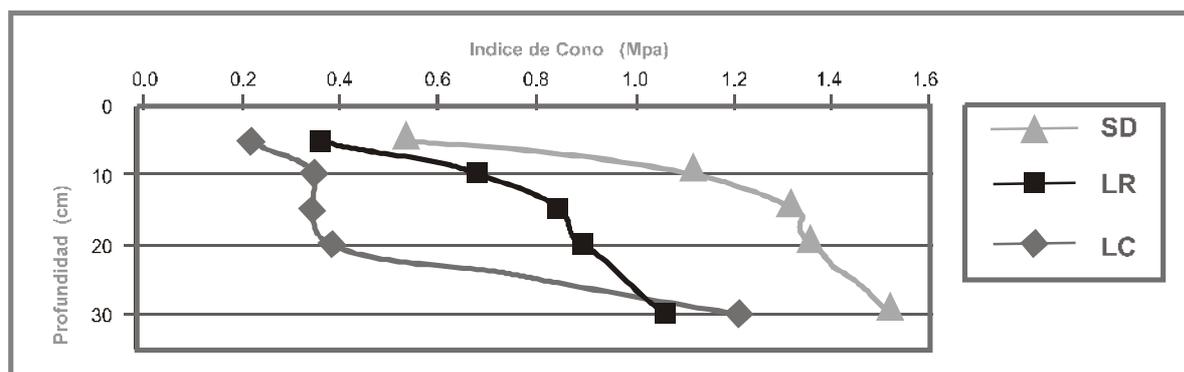
Tratamiento	Variable	Profundidad (cm)				
		0 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 30
LC	IC (Mpa)	0.23 a	0.36 a	0.35 a	0.39 a	1.22 a
	D. E.	0.08	0.18	0.19	0.25	0.47
LR	IC (Mpa)	0.37 a	0.69 a	0.85 ab	0.90 b	1.07 a
	D. E.	0.19	0.36	0.41	0.35	0.17
SD	IC (Mpa)	0.54 a	1.13 a	1.32 b	1.36 c	1.52 a
	D. E.	0.31	0.47	0.48	0.64	0.80

IC = Índice de cono; D. E. = Desvío Estándar.

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ).

En LC hay un cambio abrupto en los valores de resistencia, al pasar de los 20 a los 30cm, en cam-

bio, en SD el cambio abrupto se observa al pasar de los 5 a los 10cm (**Figura 1.46**).



**Figura 1.46.** Perfil de resistencias.

REF: Labranza Convencional (LC); Labranza Reducida (LR); Siembra Directa (SD).

Las diferencias en humedad para los primeros 5cm son mayores que para el resto de las profundidades, aunque nunca las diferencias son significativas. En la profundidad 0-5cm SD tiene mayor contenido de humedad que LR y esta que LC. En la

siguiente profundidad el orden se invierte siendo LC la que tiene mayores contenidos de humedad. Los contenidos de humedad disminuyen alrededor de los 15-20cm y luego suben para todos los tratamientos (Figura 1.47).

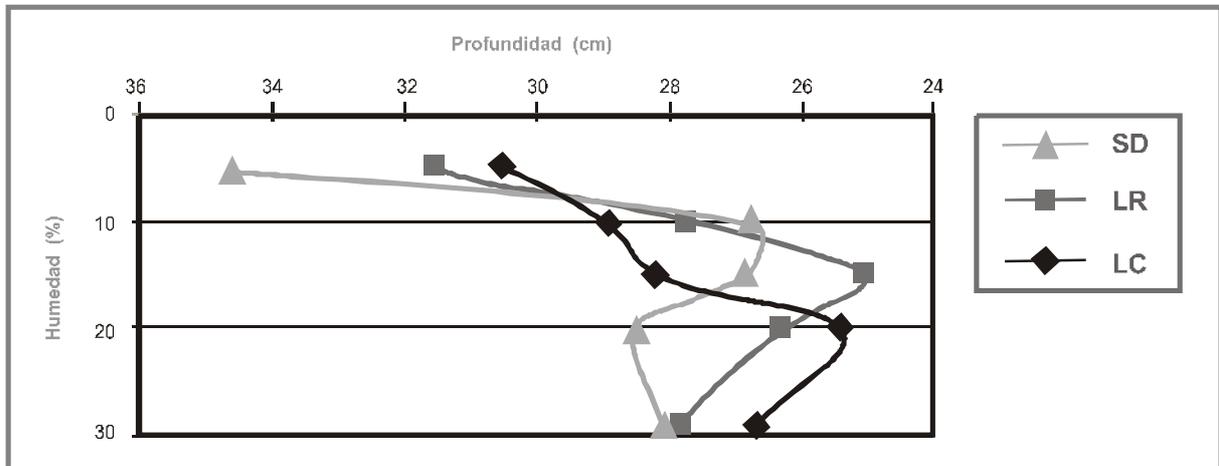


Figura 1.47. Contenido de humedad para los tratamientos por profundidad. REF: Labranza Convencional (LC); Labranza Reducida (LR); Siembra Directa (SD).

El sistema de SD presenta una zona compactada desde los 10cm hasta los 20cm, provocada por la falta de remoción del suelo que coincide con lo reportado por Radcliffe *et al.* (1988). En cambio, Taboada *et al.* (1998), encontraron incrementos en valores de RP para los primeros 15cm y los valores superaban los 2MPa considerados como límite crítico, para suelos Argiudoles típicos. Hay que considerar que en las determinaciones realizadas por Taboada, los contenidos de humedad para los primeros centímetros eran inferiores que los de este estudio.

No se encuentran valores medios que superen los 2Mpa considerados como límite crítico para el desarrollo de raíces. Estos resultados coinciden con lo reportado por Hill *et al.* (1985). Con contenidos de humedad cercanos a capacidad de campo, la SD no presenta restricciones para el crecimiento y desarrollo de raíces.

## V. SIEMBRA DIRECTA EN DISTINTAS FECHAS EN LA SECUENCIA TRIGO/SOJA COMPARADA CON UNA SITUACIÓN PRÍSTINA

El estudio se desarrolla en el ensayo de labranzas Trigo-Soja (Marelli, Arce) que tiene un diseño experimental en parcelas divididas con seis tratamientos y tres repeticiones. Cada parcela se divide en sub-parcelas fertilizadas y no fertilizadas. Se evaluó el tratamiento F, trigo en directa/soja en directa en las sub-parcelas fertilizadas. El ensayo se inició en el año

1975 (Marelli) y hasta 1993/1994 se sembraba el trigo en LC y a partir de ese año se comienza a hacer en SD.

En diciembre de 2003, enero y julio de 2004, se tomaron 20 registros por repetición para obtener el Índice de cono (IC). Las mediciones se realizaron al azar sobre las líneas de siembra, separadas a una distancia de 1 metro. Se determinó el Índice de cono y el porcentaje de humedad para las siguientes profundidades: 0-5cm, 6-10cm, 11-20cm, 21-30cm y 31-50cm. Además se tomaron 30 registros de IC y %H en el parque de la estación meteorológica, que no tiene cultivos, ni tráficos de maquinarias en los últimos 45 años y es considerado como una situación prístina (SP).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores medios de RP nunca superan el límite crítico de 2Mpa. Comparando los valores de la situación prístina con el ensayo Trigo/Soja se observan para este último mayores valores de resistencia y el valor máximo esta situado entre los 10 y 20cm. Después de esa profundidad los valores tienden a hacerse constantes (Figura 1.48). Las diferencias observadas para el tratamiento Trigo/Soja entre fechas de muestreo se corresponden con las diferencias entre los contenidos de humedad (Figura 1.49).

La SP presenta mayores contenidos hídricos y para todas las situaciones los primeros 5cm tienen ma-

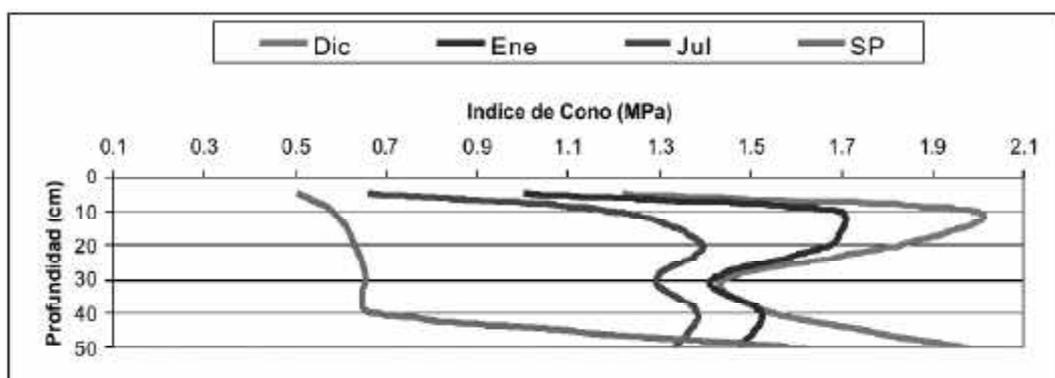


Figura 1.48. Valores de Resistencia a la penetración del ensayo Trigo/Soja para tres fechas y para una situación sin tránsito en una sola fecha.  
REF: Diciembre (Dic); Enero (Ene); Julio (Jul); Situación Prístina (SP).

yor humedad que el resto de las profundidades. Luego de los 5cm el contenido de humedad disminuye en forma abrupta y no hay una tendencia clara en las formas de las curvas (Figura 1.49).

Observando ambas figuras, puede verse que en la SP los contenidos de humedad disminuyen en forma marcada hasta los 40cm, pero el IC no presenta variaciones, por lo tanto, otras variables como el contenido de carbono orgánico puede estar influyendo en la resistencia a la penetración. Díaz Zorita y Grosso (2000), encontraron que la susceptibilidad a la compactación depende de los contenidos de limo y carbono orgánico ( $r^2 = 0.49, p < 0.01$ ).

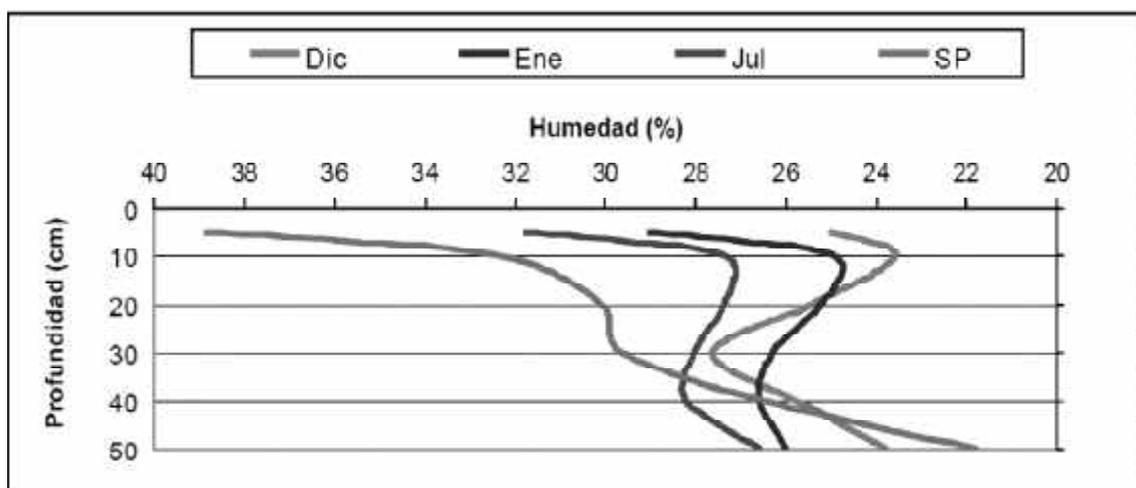


Figura 1.49. Contenido de humedad del ensayo Trigo/Soja para tres fechas y para una situación prístina en una sola fecha.  
REF: Diciembre (Dic); Enero (Ene); Julio (Jul); Situación Prístina (SP).

La alta relación entre la RP y el contenido de humedad puede verse observando ambas figuras. Los mayores valores de resistencia se dan con contenidos hídricos menores, esto es más notable después de los 40cm en el perfil de diciembre y en la SP.

En SD hay un aumento en la RP entre los 10 y 20cm y este aumento es más marcado a medida que disminuye el contenido de humedad. En el resto de las profundidades no hay aumentos abruptos en los valores de resistencia, a menos que los con-

tenidos de humedad disminuyan. En SD para los suelos de este estudio, con valores de humedad cercanos a 24%, se empiezan a manifestar valores medios con restricciones para el crecimiento de las raíces.

Aunque este estudio no tuvo en cuenta los contenidos de carbono orgánico, evidencias aportadas por otros autores, revelan que es importante tener en cuenta esta variable por su influencia en la susceptibilidad a la compactación.

## VI. CONSIDERACIONES FINALES

- La resistencia a la penetración es un buen indicador de la calidad del suelo. Permite monitorear el estado de compactación del suelo, que es una medida de la degradación de la estructura del mismo. Si bien son muchas las variables que inciden en los valores de resistencia a la penetración, conocer como actúan estas variables ayuda a elegir el momento adecuado de muestreo y la interpretación de los resultados.
- Al realizar estudios comparativos de labranzas es importante que las determinaciones se hagan en cortos periodos, porque cambian los contenidos de humedad. Además hay que tener en cuenta que según lo reportado por Lapen *et al.* (2004), en suelos trabajados las relaciones entre resistencia a la penetración y humedad cambian durante la estación de crecimiento.
- Sería interesante conocer la relación entre la humedad y el límite crítico de resistencia a la penetración en MPa para cada cultivo y tipo de suelo y relacionarlo con el período crítico para el desarrollo de las raíces. Además, establecer rangos de humedad en donde hay ausencia de restricciones para el desarrollo de las raíces.
- Para una mejor caracterización de la estructura del suelo se puede realizar un perfil de resistencias, que da una mejor información acerca de lo que ocurre en el perfil, en comparación a la información que nos da el índice de cono.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. 1992. *Standars*. Joseph, M. I. (Ed.). ASAE Editions, St., USA. 781p.
- BRYE, K.R.; SLATON, N.A and NORMAN, R.J. 2005. *Penetration resistance as affected by shallow-cut land leveling and cropping*. Soil Till. Res. 81, 1-13
- CERANA, J.; POZZOLO, O.; BENAVIDEZ, R.; RIVAROLA, S.; WILSON, M. y DE BATTISTA, J.J. 2004. *La determinación de la resistencia mecánica a la penetración para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas productivos*. *In*: Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría / compilado por Filgueira, R. R.; Micucci, F. G. 1° ed. La Plata: Universidad Nacional de la Plata. 180p.
- CERISOLA, C. 2004. *Uso del penetrómetro en un modelo lineal para estimar la densidad aparente seca de un suelo*. *In*: Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría / compilado por Filgueira, R. R.; Micucci, F. G. 1° ed. La Plata: Universidad Nacional de la Plata. 180p.
- COLLAZO, D.J. 2004. *La resistencia a la penetración como parámetro mecánico del suelo*. *In*: Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría / compilado por Filgueira, R. R.; Micucci, F. G. 1° ed. La Plata: Universidad Nacional de la Plata. 180p.
- DÍAZ ZORITA, N. and GROSSO, G.A. 2000. *Effect of soil texture, organic carbon and water retention on the compactability of soils from the Argentinean pampas*. Soil Till. Res. 54. pp.121-126.
- GERSTERT, G. y BACIGALUPPO, S. 2004. *Consecuencias de la densificación por tránsito en argiudoles del sur de Santa Fe*. *In*: resúmenes del XIX congreso argentino de la ciencia del suelo.
- HARRIS, W.L. 1971. *The soil compaction process*. *In*: Compaction of Agricultural Soils. Barnes, K. K. Monograph published By American Society of Agricultural Engineers. 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan, USA. 471p.
- HILL, R.L. and CRUSE, R.M. 1985. *Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols*. Soil Sci. Soc. Am. J. 49. pp.1270-1273.
- LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; EDWARDS, M.E.; GREGORICH, E.G. and CURNOE, W.E. 2004. *Combination cone penetration resistance/water content instrumentation to evaluate cone*

*penetration–water content relationships in tillage research.* Soil Till. Res. 79. pp.51-62.

LOWERY, B. and SCHULER, R.T. 1991. *Temporal effects of sub-soil compaction on soil strength and plant growth.* Soil Sci. Soc. Am. J. 55. pp.216-223.

MARELLI, H. y ARCE, J. 1996. *La labranza conservacionista.* EEA INTA MARCOS JUÁREZ. Información para Extensión N° 32. Mayo. 8p.

MARTINO, D. 2001. *Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa.* In: Siembra Directa en el Cono Sur / coordinador Díaz Rosello, R. Montevideo: PROCISUR, 2001. 450p.

RAMÍREZ PISCO, R.; TABOADA, M.A. y GIL, R. 2004. *Efecto a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de un argiudol típico.* CONGRESO ARGENTINO DE CIENCIA DEL SUELO.

RADCLIFFE, D.E.; TOLLNER, E.W.; HARGROVE, W.L.; CLARK, R.L. and GOLABI, M.H. 1998. *Effect of Tillage Practices on Infiltration and Soil Strength of a Typic Hapludult Soil After Ten Years.* Soil Sci. Soc. Am. J. 52. pp.798-804.

RADFORD, B.J.; YULE, D.F.; Mc GARRY, D. and PLAYFORD, C. 2001. *Crop responses to applied soil compaction and to compaction repair treatments.* Soil Till. Res. 61. pp.157-166.

TABOADA, M.A.; MICUCCI, F.G.; COSENTINO, D.J. and LAVADO, R.S. 1998. *Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils.* Soil Till. Res. 49. pp.57-63.

TAYLOR, H.M. and GARDNER, H.P. 1963. *Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strenght soils.* Soil Sci. 96. pp.153-156.

WILKINS, D.E.; SIEMENS, M.C. and ALBRECHT, S.L. 2002. *Changes in soil physical characteristics during transition from intensive tillage to direct seeding.* Transactions of the ASAE. Vol. 45(4). pp.877-880.

ZHANG, H.; HARTGE, K.H. and RINGE, H. 1997. *Effectiveness of Organic Matter Incorporation in Reducing Soil Compactibility.* Soil Sci. Soc. Am. J. 61:239-245 (1997).

# CONSECUENCIAS DEL TRÁNSITO EN HÚMEDO SOBRE EL SUELO Y LOS CULTIVOS DE TRIGO, SOJA Y MAÍZ EN SISTEMAS DE SIEMBRA DIRECTA

*por Guillermo Gerster  
AER Roldán INTA, Argentina  
Silvina Bacigaluppo  
EEA Oliveros INTA, Argentina*

## I. INTRODUCCIÓN

Los suelos agrícolas de la región pampeana presentan un importante deterioro en su estructura, que se manifiesta a través de la formación de costuras superficiales y de la aparición de horizontes sub-superficiales endurecidos (pisos de labranza y huellas por tránsito con suelo húmedo).

El tránsito de equipos sobre el suelo con excesiva humedad, fundamentalmente durante la cosecha de los cultivos, afecta notablemente las propiedades físicas de los suelos, generando limitaciones al crecimiento de raíces y afectando la movilidad y disponibilidad de agua y nutrientes.

Trabajos anteriores realizados por los autores y otros técnicos del área, indican que el nivel de compactación y la presencia de pisos continuos, son algunas de las variables que más inciden en el rendimiento de los cultivos de soja (Gerster *et al.*, 2002). El efecto de la compactación sobre el

rendimiento de los cultivos, depende de las condiciones climáticas que interactúan con las propiedades de los suelos (Taboada y Micucci, 2002).

Los suelos en siembra directa (SD), mediante el efecto de las raíces y de la actividad biológica, asociado a procesos de humectación y desecamiento, tienen la capacidad de recuperar la estructura. Este proceso, que depende de las características de cada lote (cobertura, materia orgánica, etc.), puede demorar varios años.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tránsito de maquinarias en suelo húmedo, sobre el suelo y los cultivos.

**Palabras claves:** suelos, tránsito, compactación, raíces, cultivos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

En septiembre de 2000, se generaron huellas en lotes de productores en SD continua. Las mismas se generaron con un tractor Deutz 55 HP de 3400kg de peso, con cubiertas 169-34 de 6 telas y 30lb/

pulg<sup>2</sup> de presión y un acoplado tolva de dos ejes, con una carga de 7000kg y cubiertas 750 x 20 y 50lb/pulg<sup>2</sup>.

La humedad del suelo al momento de realizado el tránsito se presenta en el **Cuadro 1.45**.

**Cuadro 1.45.** Humedad (%) del suelo al momento del pasaje del tractor y acoplado.

Lote	Horizonte	Profundidad (cm)	% de agua (gr/gr)
Lote 1	A	17	25.29
	B1	11	25.13
Lote 2	A	17.5	27.21
	B1	11	25.75

Durante la campaña 2000/01 se sembraron los cultivos que se detallan en el **Cuadro 1.46**, los

lotes presentaban la historia detallada en el **Cuadro 1.47**.

**Cuadro1.46.** Cultivos realizados.

Campaña	Lote 1	Lote 2
2000/2001	Maíz	Soja 1 <sup>a</sup>

**Cuadro 1.47.** Historia de los lotes.

Tipo y serie de suelo	Lote 1	Lote 2
	Argiudol ácuico, serie Armstrong	Argiudol ácuico, serie Armstrong
Años de agricultura	+ 30	+ 30
Años de siembra directa	10	10

Los cultivos se implantaron sobre las huellas (Tratamiento huella) y sobre suelo no transitado (Testigo). Se realizaron las siguientes evaluaciones, tanto de suelo como de cultivo:

**Cartografía de suelo:** Se aplicó la metodología del perfil cultural (Manichom, 1986) en los dos tratamientos, procediéndose a la delimitación y cartografiado de las unidades estructurales encontradas. El método empleado consistió en dividir la porción de suelo afectada por las labores y el cultivo identificando diferentes sectores según su porosidad y la forma en que se dispusieron los terrones.

**Mapa de raíces:** Se caracterizó el sistema radical en ambos tratamientos, durante el llenado de granos. Se construyeron trincheras de 1m de profundidad x 3m de largo en forma transversal a los surcos. Se realizó una adaptación del

método del perfil expuesto (Gil, 1986). Mediante una mochila a presión se lavó una de las caras de las trincheras. Sobre esta pared se colocó una grilla de 70cm x 70cm dividida en cuadros de 2cm x 2cm. Se procedió al recuento de raíces en cada cuadro hasta un espesor de 1cm de profundidad, transcribiendo los datos a una planilla de configuración similar a la grilla. Las raíces más gruesas, recibieron según su tamaño una mayor calificación numérica.

**Densidad aparente:** Se evaluó en cada tratamiento a cuatro profundidades (0-7cm, 7-14cm, 14-21cm, 21-28cm). Método del cilindro.

**Conductividad hidráulica:** Se evaluó la velocidad de infiltración de agua en suelo saturado con permeámetros de disco (Gil R., comunicación personal).

**Análisis químico:** Se realizó en muestras del horizonte A para ambos tratamientos. Se determinaron: Nitratos (método ácido fenol disulfónico), pH (método electrométrico) y fósforo asimilable (método de Bray Kurtz N°1).

**Evaluación de la nodulación:** En huella y testigo del cultivo de soja de primera, se realizaron 5 muestreos de 5 plantas contiguas cada uno. Se hizo el recuento y peso seco de los nódulos pre-

sentados en los primeros 15cm de la raíz principal y 5cm de las raíces secundarias.

**Rendimientos y componentes:** Se realizó cosecha manual tomando 10 submuestras por tratamiento de 5m<sup>2</sup>.

**Precipitaciones:** Se registraron las lluvias ocurridas durante el ciclo de los diferentes cultivos (**Cuadro 1.48**).

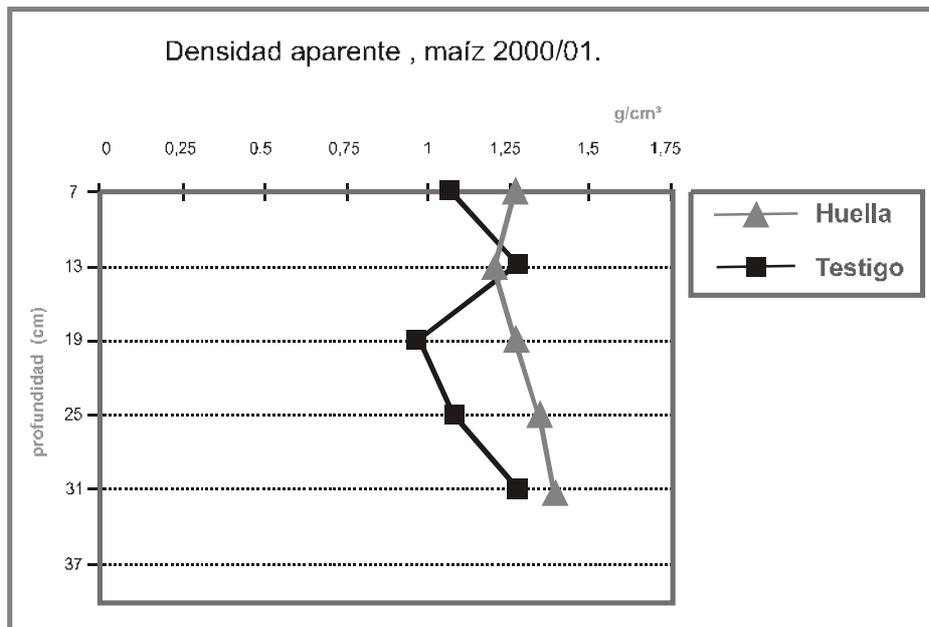
**Cuadro 1.48.** Precipitaciones registradas en el ciclo 2000/01 (mm/mes).

Ciclo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
2000-01	0	48	69	123	208	62	117	70	251	112	0	45

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los dos lotes se observaron valores más elevados de densidad aparente (DA) en el tratamiento afectado por tránsito. En la **Figura 1.50** se observan los valores de DA, obtenidos en la huella y testigo del Lote 1. Las diferencias entre los tratamientos se mantuvieron has-

ta los 31cm de profundidad, excepto entre los 8 y 13cm. Posiblemente en este sector del tratamiento huella se concentraron las raíces del cultivo por encontrar impedimentos para su desarrollo en profundidad, disminuyendo de esta forma la DA del mismo.



**Figura 1.50.** Densidad aparente Lote 1, Maíz 2000/01.

Los valores de conductividad hidráulica medidos mostraron una disminución en los tratamientos huella. En la **Figura 1.51**, se observan los valores de

conductividad hidráulica evaluados en el Lote 1. En el sector afectado por el tránsito la conductividad hidráulica fue un 28% menor.

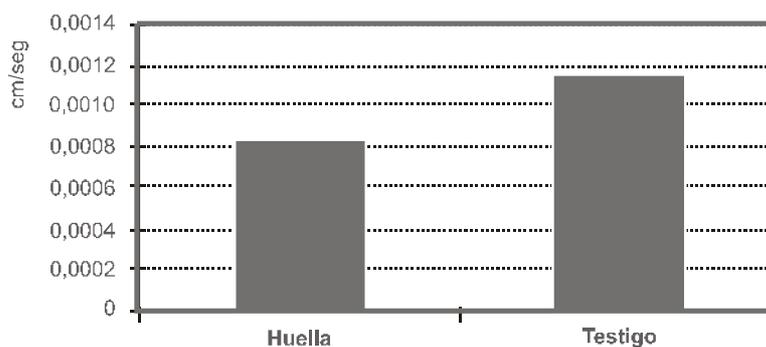


Figura 1.51. Conductividad hidráulica, Lote 1.

Las determinaciones químicas de suelo registraron diferencias entre los tratamientos, en los valo-

res de nitratos y fósforo disponibles en el horizonte A (**Cuadro 1.49**).

**Cuadro 1.49.** Análisis químico, Lote 1, 2000/01 (Horizonte A) Maíz.

Maíz	Huella	Testigo
PH	6.00	5.90
Nitratos disponibles (ppm)	8.90	53.00
N-nitratos	2.01	11.99
Fósforo disponible (ppm)	43.00	52.00

A continuación se presentan perfiles de suelo (**Figura 1.52**) y mapas de raíces (**Figura 1.53**) realizados en los dos cultivos.

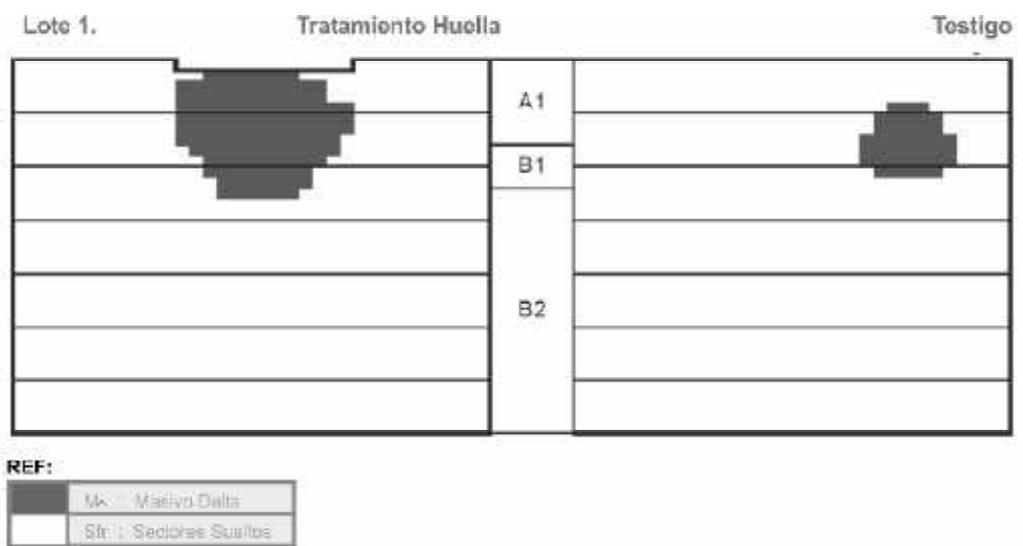
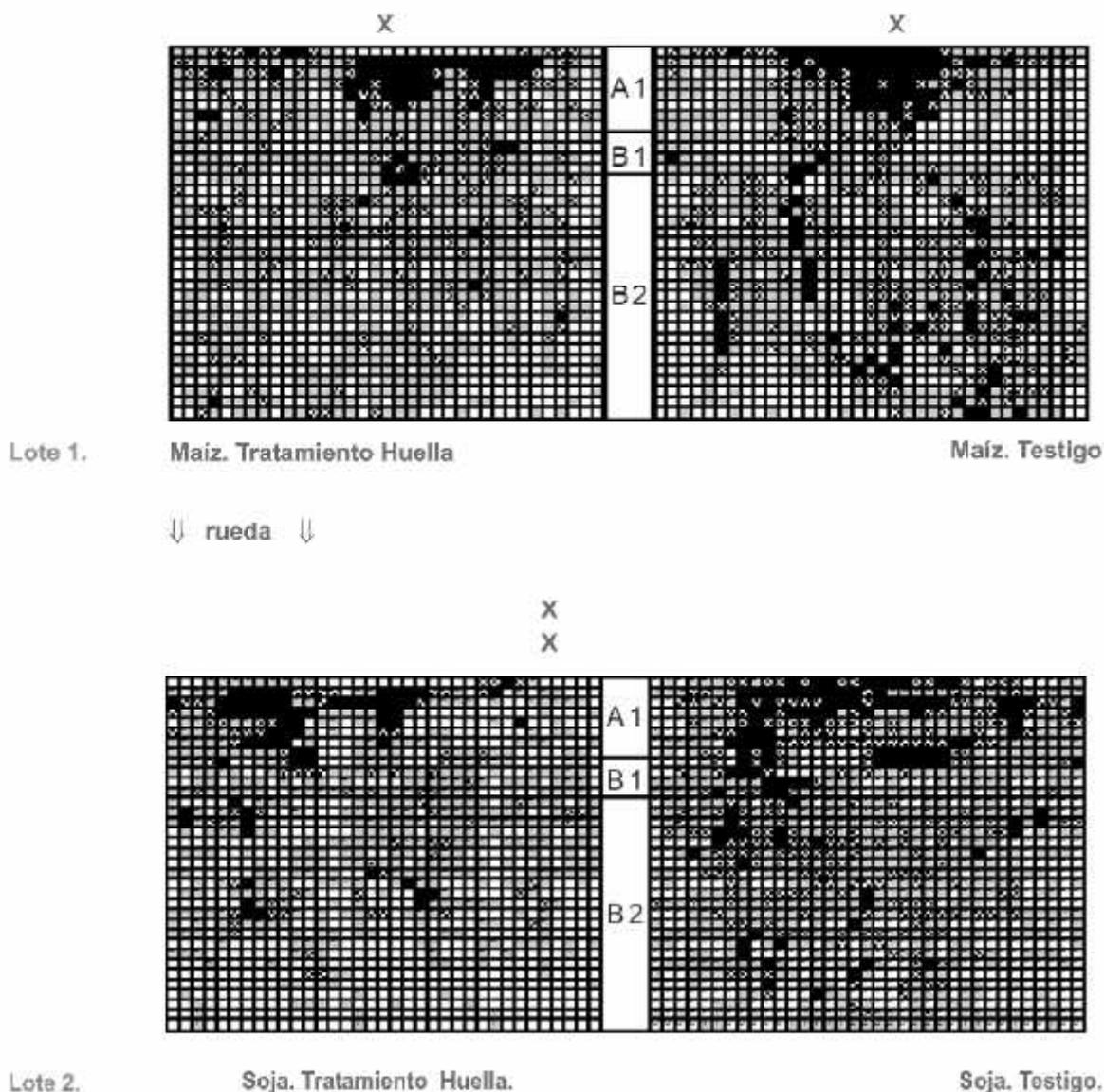


Figura 1.52. Perfil Cultural.



REF:

X	Planta
	0 raíces
	1 o 2 raíces
	3 o 4 raíces
	5 o más raíces

Figura 1.53. Mapa de raíces.

En ambas situaciones, se observa que en el testigo, el volumen de suelo explorado por las raíces fue mayor y más profundo, presentando raíces más gruesas y en mayor cantidad hasta los 70cm de profundidad. En el perfil cultural correspondiente al Lote 1, se detectó en el testigo, un sector masivo fuera de la línea de siembra donde se observó un menor desarrollo de raíces (Figuras 1.52 y 1.53). La menor exploración de raíces en áreas compactadas es coincidente con lo observado por Tardieu y Manichom (1990).

En el cultivo de soja (Lote 2), en el estadio fenológico R3 se realizó el recuento de nódulos y se determinó el peso seco de los mismos en ambos tratamientos. En la Figura 1.54, se puede observar una diferencia importante a favor del testigo, en las dos variables evaluadas. Datos similares obtuvieron Taboada y Micucci (2002) quienes observaron nódulos más pequeños y livianos en sectores afectados por tránsito.

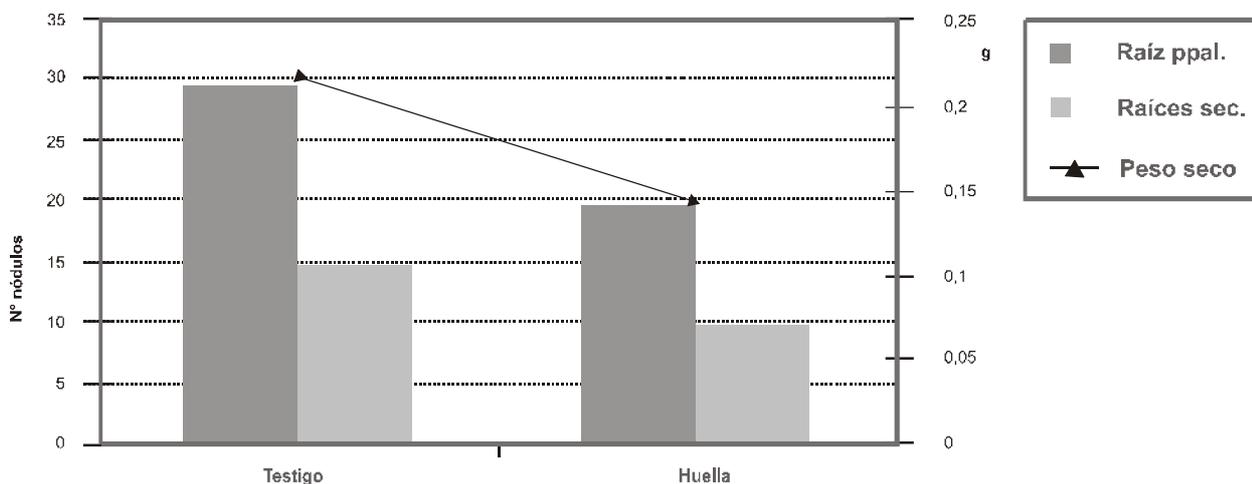


Figura 1.54. Nódulos en R3.

El cultivo de maíz tuvo un rendimiento un 15% menor en el sector densificado respecto del testigo. En soja de primera, se obtuvo una marcada diferencia de rendimiento entre ambos tratamientos. En el testigo el rinde fue de 4201kg/ha, mientras que

en la huella fue 1143kg/ha menor. En ambos casos el peso de 1000 granos fue similar en los dos tratamientos, en consecuencia dicha diferencia se debió al número de granos por m<sup>2</sup> (**Cuadro 1.50**).

Cuadro 1.50. Rendimiento y peso de granos.

	Maíz (Lote 1)		Soja (Lote 2)	
	Rendimiento (kg/ha)	Peso 1000 granos (g)	Rendimiento (kg/ha)	Peso 1000 granos (g)
<b>Huella</b>	5092	252	3058	158
<b>Testigo</b>	5976	249	4201	158

La relación existente entre la presencia de sectores compactos y la merma de rendimientos de los cultivos es coincidente con lo observado por Radford *et al.* (2001), en el cultivo de trigo.

#### IV. CONCLUSIONES

- La compactación por tránsito generó incrementos de DA hasta la profundidad medida (31cm). Las diferencias observadas entre tratamientos estuvieron comprendidas entre 0 y 24%.
- La densificación por tránsito generó una marcada disminución en la disponibilidad de nitratos en el horizonte superficial.
- Los sectores afectados por el tránsito presentaron valores de conductividad hidráulica menores al testigo.
- La existencia de sectores masivos en los horizontes superiores limitó el desarrollo de raíces en profundidad para los cultivos evaluados.
- Los cultivos presentaron una merma de rendimiento de 870kg/ha para maíz y de 1200kg/ha para soja de primera.
- La existencia de sectores masivos en los horizontes superiores afectó la nodulación en el cultivo de soja.
- Las observaciones realizadas comparando la huella con el sector "normal" destacan la importancia de generar técnicas que contribuyan a limitar el tránsito en suelos con condiciones de excesiva humedad y a implementar prácticas de manejo para aquellos lotes ya afectados por el tránsito en húmedo.

## V. AGRADECIMIENTOS

A los productores Angel Fermi e hijo de la localidad de Cañada de Gómez, que nos permitieron realizar el presente trabajo en su establecimiento.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GERSTER, G.; GARGICEVICH, A.; CORDONE, G. y GONZÁLES, C. 2002. *Factores edáficos y prácticas culturales asociados al rendimiento de soja*. Congreso Argentino de ciencias de Suelo. Puerto Madryn.

GIL, R. 1986. *Observación y medición de raíces de los cultivos*. Método del perfil expuesto. INTA AER Río Tercero. Material para Extensión.

MANICHOM, H. 1986. *Observación morfológica del estado estructural y efectos de la compactación en horizontes trabajados*. *In*: III Curso de física de suelos INTA Pergamino 1990. pp.157-167.

RADFORD, B.J.; YULE, D. and Mac GARRY, J. 2001. *Crop responses to applied soil compaction and to compaction repair treatments*. Soil tillage Res. 61. pp.157-166.

TABOADA, M. y MICUCCI, F. 2002. *Fertilidad física de los suelos*. Facultad de Agronomía UBA.

TARDIEU, F. y MANICHOM, H. 1990. *Consecuencias del Perfil Cultural sobre el enraizamiento: caso del maíz*. *In*: III Curso de Física de Suelos INTA Pergamino 1990. pp.168-177.



# ANÁLISIS DE CUATRO AÑOS DE SIEMBRA DIRECTA EN LA CUENCA DE SAN JOSÉ

## EL CASO DEL PROYECTO CADEPA

*por Claudio J. Pérez Castillo;  
Carlos Ruíz Sánchez  
Instituto de Investigaciones  
Agropecuarias – Quilamapu, Chile*

### I. RESUMEN

Producto de un acuerdo de cooperación internacional entre los gobiernos de Chile y Japón, se está desarrollando el proyecto Conservación del Medio Ambiente y Desarrollo Rural Participativo en el Secano Mediterráneo de Chile (CADEPA), en la comuna de Ninhue, VIII Región de Chile.

Este proyecto tiene como objetivo principal, el mejorar la calidad de vida de los habitantes del Secano Interior de Chile mediante la promoción de prácticas conservacionistas de suelo y agua. La primera etapa de actividades se inició en marzo de 2000 y finalizó en febrero de 2005. Una segunda etapa se desarrolla entre marzo de 2005 hasta febrero de 2007.

La zona agrícola de secano abarca desde la quinta a la octava región de Chile, donde habitan muchos pequeños productores. El desarrollo de la agricultura

está limitado notablemente por las condiciones naturales del medio ambiente, escasas lluvias (700mm/año) concentradas en invierno, así como la erosión de los suelos producidas por el mal manejo a que han sido sometidos.

El Proyecto busca aumentar el ingreso de los productores, a través de la introducción por parte de ellos, de nuevas tecnologías, como la tecnología de conservación de suelo a través del cultivo con cero labranza de trigo, cultivo de hortalizas y frutas a pequeña escala con sistema de riego tecnificado, entre otros. Con esta técnica es posible sembrar en aquellos suelos con pendientes

**Palabras claves:** cero labranza, manejo integral, proyecto participativo.

menores a 20%. Suelos con pendientes mayores son destinados a otros usos como sistemas silvopastorales y/o praderas permanentes.

La implementación de los sistemas productivos se hicieron con trigo, arvejas, lentejas y avena en cero labranza. En cuanto a superficie sembrada, el trigo ha sido el cultivo más importante, aumentando de 12 a 138has en 4 temporadas, con un incremento desde 10qqm\*/ha en el sistema tradicional a 36.2qqm/ha con cero labranza.

Este incremento si bien es cierto que ha sido posible por la participación activa de los productores en el proyecto, también se explica por la utilización de los instrumentos de apoyo que entrega el Estado a través del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP).

## II. INTRODUCCIÓN

El Secano Interior y Costero de Chile ha sido sometido a un intenso proceso de sobre explotación de sus recursos naturales desde la llegada de los españoles hace más de 4 siglos. Hoy en día, producto de ese proceso, unido a las limitantes climáticas, topográficas, edáficas y socioeconómicas de los productores, hacen que el proceso productivo sea extremadamente complejo y presenta serias limitantes para desarrollar una agricultura conservacionista que incorpore la tecnología de cero o mínima labranza (Shinomi; Perez, 2004).

Sin embargo y por considerar que ésta es una de las pocas vías de producción de largo plazo, fue que el proyecto CADEPA, incorporó esta tecnología con pequeños productores de la zona central de Chile.

## III. EL SISTEMA PRODUCTIVO

El Secano Interior de la VIII región, es una importante área agroecológica ubicada en la vertiente oriental de la cordillera de la costa y los sectores no regados del valle central, es una región homogénea que se extiende entre la VII y VIII región abarcando una superficie aproximada de 1.600.000 hectáreas (del Pozo, del Canto, 1999).

La comuna de Ninhue tiene una superficie de 39.000 hectáreas físicas, que debido a sus características agroclimáticas y de topografía presenta una aptitud eminentemente forestal, ganadera, cultivos anuales, fruticultura y establecimiento de viñedos.

De acuerdo con Ruiz y Matsuya, (2004), el sistema productivo dominante en la comuna de Ninhue, consiste en

una rotación en base a ganadería sobre pradera natural, de baja productividad, luego se hace barbecho y posteriormente se siembra trigo (en el mes de mayo), después del cual se establece una leguminosa u otro cereal como avena, o simplemente retoma su uso como pradera natural. Adicionalmente se cultiva la vid cepa País. En estas condiciones se explota una amplia superficie de suelo, favoreciendo el proceso de erosión hídrica e incremento del escurrimiento de las aguas, que unido al sobre pastoreo de la zona configura un cuadro de deterioro progresivo de los recursos naturales.

## IV. PRINCIPALES PROBLEMAS

### LA CONDICIÓN SOCIOECONÓMICA DE LOS PRODUCTORES

Los pequeños productores de esta región tienen serias limitantes económicas. Sus predios tienen en promedio 8has (3 o 4 de ellas aprovechables) y su ingreso anual familiar alcanza a los 1.000 dólares, aproximadamente.

### EL CLIMA

El secano mediterráneo de Chile presenta una estación de lluvias muy concentrada entre los meses de mayo a setiembre. En esta época se concentra el 80% de las lluvias con un promedio de 750 a 800mm/año. Luego, entre noviembre y marzo se presenta un período de sequía estival muy fuerte.

Bajo estas condiciones, las siembras deben hacerse la segunda quincena de abril para las leguminosas y durante el mes de mayo para el trigo. Un atraso en estas fechas significa una merma importante en los rendimientos.

Por su parte, las temperaturas medias en el mes más frío (julio) y en el mes más cálido (febrero) alcanzan a 9.2°C y 20.3°C, respectivamente (Del Pozo; Del Canto, 1999). Bajo estas condiciones, la descomposición de la materia orgánica en general y de los rastrojos en particular es muy baja, haciendo difícil su degradación luego de haber sido cosechados a fines de diciembre o enero.

### EL SUELO

Undurraga *et al.* 2004, señalan que la amplia zona que constituye el Secano Interior de la VIII Región está formada por suelos derivados de materiales graníticos, que se ubican en posición topográfica de cerros y/o lomajes. Los orígenes de los suelos son diversos y se pueden dividir en derivados de rocas metamórficas (Series Cons-

---

\* 1 qqm = 100 kg = 0,1 t

titución, Pocillas, Maule), de rocas graníticas (Cauquenes, San Esteban) y de posición baja (Quella, Unicaven, Vegas). Los suelos aptos para ser utilizados en cultivos son aquellos, que presentan pendientes moderadas a fuertemente onduladas (9 a 20%).

Los suelos, hasta una profundidad de 30cm, presentan un color pardo oscuro y texturas francas a franco arcillosa, aunque también es posible encontrar suelos de color pardo rojizos de textura arcillosa a mayor profundidad en el perfil. Debido a que existen limitaciones en cuanto a las pendientes, solamente un pequeño porcentaje de los suelos son arables, sin riesgo de erosión hídrica en aquellos de pendientes menores al 8%. En los que presentan pendientes mayores, es recomendable considerar el uso de prácticas conservacionistas, entre las que se destacan la siembra directa sin laboreo del suelo o cero labranza, cultivos en fajas o contornos, la incorporación de residuos vegetales y una adecuada rotación de cultivos.

## LA COMPACTACIÓN DEL SUELO

Yoshikawa *et al.* (2004), señalan que existen muchos lugares en el Secano Interior, donde la capa superficial del suelo tiene bajo contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es mayor en la capa subsuperficial que en la superficial, lo que demuestra la pérdida y acumulación de partículas de arcillas en las capas inferiores del suelo.

El **Cuadro 1.51** muestra una referencia de la dureza del suelo, medida con el penetrómetro DAIKI, junto con las recomendaciones para el uso de una sembradora de cero labranza tirada, por un tractor de tracción asistida de 90HP. El suelo demora cuatro días después de la lluvia en alcanzar la resistencia adecuada para ejecutar la labor de siembra.

**Cuadro 1.51.** Recomendaciones para el trabajo de una máquina sembradora tirada por tractor en función de la resistencia del suelo.

Capa del suelo arable (0-10/20cm)	Capa del subsuelo (> 10/20cm)	Trabajo de la sembradora tirada por tractor	Labores adicionales
Dura	Dura	No debe trabajar. Se afecta la profundidad de la siembra	Cinzel o Subsolador
Dura	Moderada	Se afecta la profundidad de la semilla	Cinzel o Subsolador
Moderada	Moderada/Dura	Sembradora trabaja bien	
Moderada	Blanda	Trabajar con cuidado	Al girar en las cabeceras poner mucha atención
Blanda	Dura/Moderada	Trabajar con cuidado. La semilla queda muy profunda	No trabajar suelos con pendiente
Blanda	Blanda	No se puede trabajar. Tractor y sembradora se entierran	

Fuente: Yoshikawa *et al.*, 2004.

REF: Resistencia a la penetración (Mpa/cm<sup>2</sup>): Dura >13; Moderada 3-13; Blanda <3

## V. ESCURRIMIENTO DE AGUA

Debido a las características de suelos anteriormente señaladas, se estableció un ensayo para medir la pérdida de suelo por escurrimiento de las aguas. Los tratamientos fueron:

T1: Sistema de manejo de cultivo tradicional, el primer año se barbechó el suelo, al segundo año se sembró trigo, al tercer año se volvió a barbechar, para sembrar nuevamente al año siguiente.

T2: Sistema de cero-labranza, se controlaron las malezas antes de la siembra y se sembró con cero-labranza, una rotación leguminosa de grano-trigo.

T3: Parcela con pradera natural, el suelo no se cultivaba y permanecía con la vegetación natural que puede producir.

La **Figura 1.55** muestra los resultados de tres años de mediciones, estableciéndose que al tercer año

la cero labranza redujo en forma importante la escorrentía de las aguas.

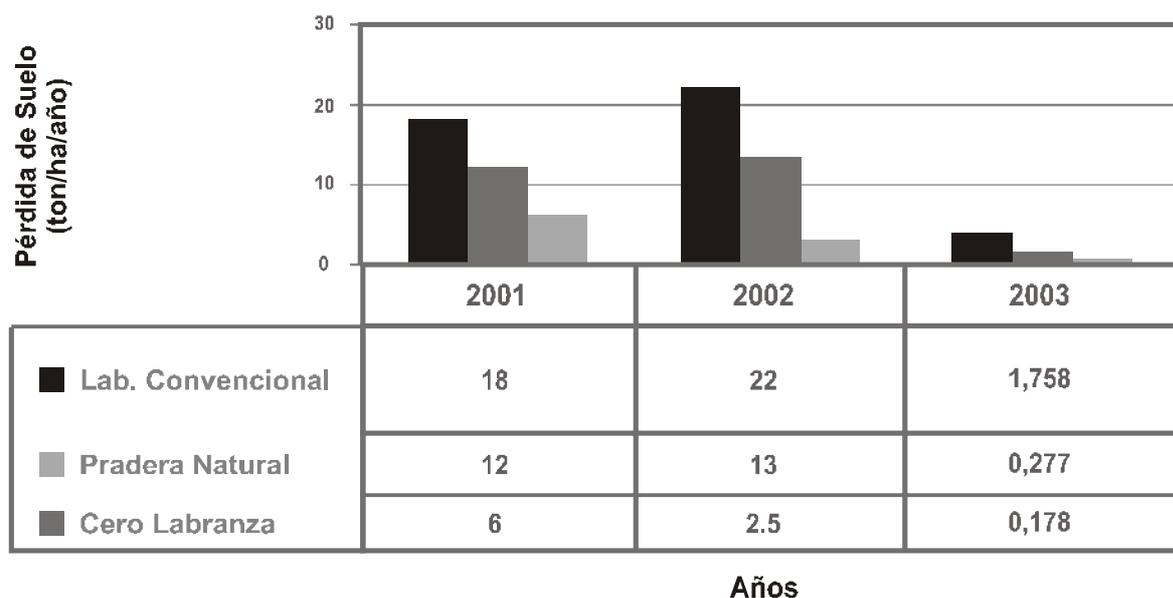


Figura 1.55. Pérdida se suelo por escorrentía en el Secano Mediterráneo de Chile.

## VI. PRODUCCIÓN DEL SISTEMA

Para implementar un nuevo sistema de producción, en el secano interior sobre la base de un nuevo esquema de rotación de cultivos y del establecimiento de éstos en cero labranza, fue necesario ordenar el uso del suelo de manera de obtener las mayores ventajas de productividad y los menores daños por erosión. En éste sentido, es posible sem-

brar en cero labranza en aquellos suelos con pendientes menores a 20%, sin sembrarse en aquellos que presentan pendientes mayores, debiendo éstos últimos destinarse a otras usos como sistemas silvopastorales y/o praderas permanentes (**Cuadro 1.52**).

**Cuadro 1.52.** Sistemas de producción recomendados para el secano mediterráneo de Chile. Proyecto CADEPA, INIA-Chile.

Sistema	Pendiente suelos (%)	Observación
<b>Ganado - Cultivo</b>	< 20	Cuatro potreros
<b>Trigo - Leguminosas</b>	< 20	Dos potreros
<b>Praderas permanentes</b>	> 20	
<b>Silvopastoral con pinos</b>	> 20	
<b>Silvopastoral con espinal</b>	> 20	
<b>Frutales, vides y horticultura</b>	-	Disponibilidad agua riego

Fuente: Ruiz, Maysuya, 2004.

El **Cuadro 1.53** muestra la evolución de las principales especies sembradas en este sistema. Como se puede apreciar el trigo tuvo una evolución de 12

a 138has. Hay que destacar que en el universo de 110 familias que participan de este proyecto, nunca antes habían sembrado en cero o mínima labranza.

**Cuadro 1.53.** Agricultores y superficie sembrada en cero labranza por el proyecto CADEPA en San José de Ninhue, secano mediterráneo de Chile. Años 2001 al 2004.

Cultivo	2001		2002		2003		2004	
	Agr.	ha	Agr.	ha	Agr.	ha	Agr.	ha
<b>Trigo</b>	12	12.1	31	39.1	43	91.8	59	138.0
<b>Arvejas</b>	6	3.9	7	5.6	5	3.1	9	6.1
<b>Lentejas</b>	2	1.2	5	3.9	4	5.2	14	23.6
<b>Avena</b>	2	1.4	3	3.4	10	14.1	17	20.5
<b>Triticale</b>							1	1.0
<b>Praderas</b>							16	11.4
<b>TOTAL</b>		<b>18.6</b>		<b>52.0</b>		<b>114.2</b>		<b>200.6</b>

En cuanto a los rendimientos, estos también tuvieron un avance significativo. Antes de la implementación del proyecto, los productores cosechaban 10qqm/ha de trigo en 18 meses, con la

práctica del barbecho. Hoy producen 36qqm/ha en 8 meses y luego siembran una leguminosa de grano (**Cuadro 1.54**).

**Cuadro 1.54.** Superficie promedio y rendimientos cultivos en cero labranza en San José de Ninhue, secano mediterráneo de Chile. Años 2001 al 2004.

Cultivo	2001		2002		2003		2004	
	Sup. ha	qq / ha						
<b>Trigo</b>	1	32.5	1.26	35.8	2.13	31.5	2.33	36.2
<b>Arvejas</b>	0.65	46.6	0.8	-	0.62	31.6	0.67	33.5
<b>Lentejas</b>	0.6	4.3	0.78	12	1.3	4.95	1.68	10.1
<b>Avena</b>	0.7	Si	1.13	15	1.41	14.41	1.2	18.4
<b>Triticale</b>							1.00	18.3

## VII. CONCLUSIONES

A pesar de las limitantes económicas y productivas, los pequeños productores del secano interior de Ninhue fueron capaces de adoptar una tecnología conservacionista y producir con el sistema de cero labranza.

Faltan muchos detalles por mejorar, como el manejo del rastrojo y la degradación de la caña de trigo, pero el primer paso se ha dado con éxito.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEL POZO y DEL CANTO. 1999. *Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán Chile. 115p.

UNDURRAGA, P.; RODRÍGUEZ, N.; YOSHIKAWUA, S. y CLARET, M. 2004. *Antecedentes generales de los suelos del secano interior y fertilidad de suelos de la comuna de Ninhue*. *In*: Riquelme, J.; Pérez, C.; Yoshikawa, S. (Eds.). 2004. Boletín Manejo y Prácticas conservacionistas de suelo para un desarrollo sustentable del secano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 122. Versión Digital.

SHINOMI, Y. y PÉREZ, C. 2004. *Resumen del Proyecto CADEPA*. *In*: Pérez, C.; Claudio y Shinomi, Yukio. (Eds.). 2004. Boletín Métodos y Estrategias para el Desarrollo Sustentable del Secano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 122. Versión Digital.

YOSHIKAWUA, S.; RIQUELME, J. y RODRÍGUEZ, N. 2004. *Compactación de los suelos*. *In*: Riquelme, J., Pérez C., Claudio y Yoshikawa, S. (Eds.). 2004. Boletín Manejo y Prácticas conservacionistas de suelo para un desarrollo sustentable del secano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 124. Versión Digital.

COMPACTACIÓN EN SIEMBRA DIRECTA

CAMBIOS EN LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO  
EN DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZA,  
EN UN PERÍODO DE 12 AÑOS DE PRÁCTICA CONTINUA

**por Orlando Díaz;  
Juan Carlos Mejía  
CIAT, Bolivia**

**I. RESUMEN**

El desarrollo de la actividad agrícola de Santa Cruz, estuvo centrado en el uso de labranza convencional ocasionando diferentes estados de degradación en los suelos del área integrada y de expansión, siendo los suelos característicos de esta zona de origen aluvial, que se diferencian principalmente por la composición granulométrica con presencia de partículas de arena muy fina y con alto contenido de limo, que en su mayoría son Entisoles, Inceptisoles y Alfisoles.

Estudios realizados por Barber *et al.* (1994), determinaron que la compactación de suelos es uno de los factores más limitantes de la producción agrícola en el Departamento de Santa Cruz. Los niveles de compactación fueron encontrados entre los 12 y 25cm de profundidad, zona en donde se inicia el pie de arado provocado por los imple-

mentos de disco y la cual coincide con la zona de mayor desarrollo radicular (Díaz, 1991). La compactación detectada fue expresada como índices de compactación relativa en relación a la densidad máxima determinada por el Método de Proctor, encontrándose índices desde 80 hasta 90% de compactación relativa en suelos con usos agrícolas entre 13 a 25 años.

Considerando que las labranzas excesivas provocaron la compactación de los suelos, se ha estudiado durante 15 años y con dos cultivos por campaña (invierno-verano) la dinámica del suelo en diferentes sistemas de labranza, como ser: a) Labranza convencional (LC); b) Labranza vertical (LV); c) Labranza cero o siembra directa (SD) y; d) Labranza flexible (LF). Las evaluaciones de la densidad aparente (DA) en el suelo fueron realizadas cada

5cm hasta la profundidad de 25cm y en cinco oportunidades, 1989 1993, 1995, 2001, 2004, en donde se encontraron mayores diferencias entre la LC y SD.

El incremento hasta los 5cm fue mayor para LC (5%) que para SD (3.5%) en el período de 1989 a 2001. La materia orgánica proveniente de los residuos en el sistema de SD contribuyó a una mejor estabilidad del suelo y a una menor compactación superficial en relación al sistema LC. Entre los 5-10cm, el incremento de la compactación fue mayor en SD (7%) que para LC (5%), demostrando que la influencia de los rastrojos solo tiene un efecto superficial en la compactación del suelo y no así por debajo de los 5cm cuando no se trabaja con cobertura adicional.

En la profundidad entre 10-15cm, la compactación fue mayor en la LC (3.8%) que en SD (2.6%). A partir de los 15cm, la compactación tanto en LC como en SD es similar. Estos resultados evidencian que los efectos de los implementos y maquinaria incrementan la compactación a nivel general hasta los 10cm, que coincide con la profundidad del arado de disco, cuyo trabajo no sobrepasa los 12-15cm. El nivel de compactación a partir de los 15cm no refleja diferencias muy marcadas en los cambios estructurales del suelo para ambas labranzas.

Para mejorar los niveles en la SD, resulta imprescindible aportar mayores cantidades de rastrojo, realizando esquemas de rotación más agresivos, principalmente con cultivos de cobertura y no sólo con los residuos de cosecha o del cultivo anterior.

## II. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de agricultura mecanizada, utilizando implementos de disco, han sido una de las principales causas para la degradación de suelos en la zona central de Santa Cruz, principalmente manifestado en problemas de compactación.

La zona central del departamento de Santa Cruz, denominada zona integrada, es una planicie aluvial. La precipitación varía desde 900 a 1400mm/año y la evapotranspiración anual llega a 1640mm/año. Estas condiciones permiten realizar dos cultivos por año, los cultivos de verano son principalmente soya (*Glycine max* L.), maíz (*Zea mays* L.), o algodón desde noviembre a abril; y los cultivos de invierno normalmente son trigo (*Triticum aestivum* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) o girasol (*Helianthus annuus* L.) desde mayo hasta setiembre. La temperatura media es de 26.4°C y 21.7°C respectivamente, pero en invierno se tienen periódicamente vientos del sur en donde la temperatura llega a 10° C, y en algunas ocasiones hasta 5°C.

La zona central es el área en donde tradicionalmente se ha realizado agricultura mecanizada desde hace más de 40 años, en donde por muchos años, la reducción de los rendimientos ha sido una preocupación constante de los productores, debido a la degradación de suelos causada por un inadecuado manejo de los implementos agrícolas.

Estudios realizados mencionan que la compactación y la tasa acelerada de descomposición de la materia orgánica son los factores principales para la degradación de suelos en esa zona (Barber, 1995; Ajhuacho, 1994). De la misma forma, el uso excesivo de los implementos de disco pesado es uno de los principales causantes de la degradación de suelos. La preparación convencional de suelos en Santa Cruz consiste en dos pasadas de disco pesado, seguido de dos a tres pasadas de rastra liviana. Teniendo como resultado solo en la preparación de suelos entre 4-5 pasadas de implementos por campaña agrícola y como mínimo 9 de implementos en dos campañas, invierno y verano.

## III. METODOLOGÍA

Este experimento está siendo llevado a cabo desde 1989 (Barber, Díaz, 1996). Se tienen 4 sistemas de labranza, con el propósito de ver los cambios en los atributos de suelo, diferentes han sido las evaluaciones que se vienen realizando para ver los cambios en el suelo, en esta ocasión se presentan resultados de la densidad aparente hasta 1993. Los datos de este año, 2005, serán publicados una vez termine el ciclo de la campaña actual de verano. La parcela del ensayo de labranza, se encuentra localizada en la Estación Agrícola de Saavedra, ubicado a 75km al norte de Santa Cruz. El diseño se hizo bajo bloques al azar con cuatro repeticiones, las cuales son:

- Labranza convencional (LC): dos pasadas de rastra pesada (26 discos) y dos pasadas de rastra liviana (32 discos).
- Siembra directa (SD): en donde no existe remoción e la capa arable del suelo y el control de malezas se realiza a través de glifosato.
- Labranza vertical (LV): Una pasada de arado de cincel rastrojero con 1-2 pasadas de vibrocultivador de campo.
- Labranza flexible (LF): uso ocasional de arado de cincel dependiendo del grado de compactación o encostramiento del suelo y una pasada de cultivador para el control de malezas.

En estas parcelas se midieron diferentes parámetros y un factor a ser analizado para esta ocasión es la

DA, medida a intervalos de 0.5m hasta una profundidad de 0.25m. Se tomaron tres muestras utilizando anillos de muestreo de 8.8cm<sup>3</sup>.

De la misma forma, se tomaron periódicamente durante los mismos años de muestreo que para DA, muestras para análisis químico de 0.0 a 0.05m y de 0.05 a 0.15m.

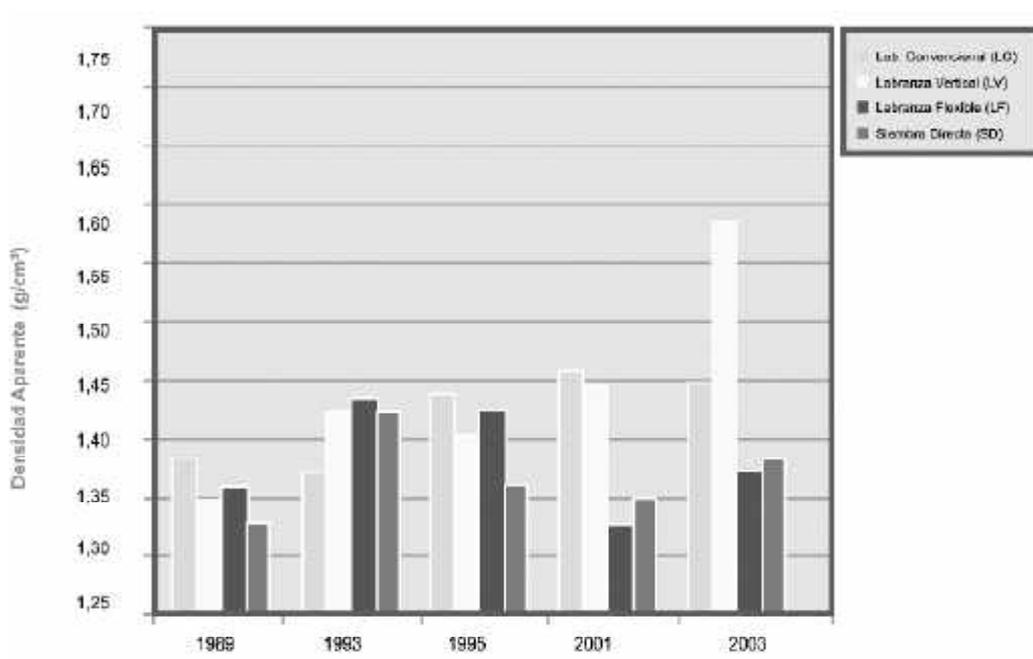
Los cultivos de verano son: soya y maíz con predominancia de soya y los cultivos de invierno son: trigo, soya, sorgo, con predominancia de sorgo.

#### IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos obtenidos y graficados en la **Figura 1.56**, se puede indicar que en la profundidad de 0-5cm se aprecian cambios en los valores de la DA durante los 12 años de haberse practicado permanentemente los mismos sistemas de labranza. En esta capa de suelo, se destacan algunos efectos en relación al proceso de compactación del mismo, especialmente en el tratamiento de SD, el que sufre un incremento del 11% en su compactación en los primeros cuatro años u ocho campañas agrícolas con el mismo sistema de labranza. Después de este período, el suelo experimenta un proceso de reversión de los índices de compactación porcentual, al reducir en casi un 5% este valor inicial de compactación. Estos cambios iniciales de valores de la DA y posterior reversión del proceso con el tiempo de práctica del sistema, podrían ser atribui-

dos principalmente al hecho de que bajo este sistema hay un acúmulo de materia orgánica superficial, por la presencia de los residuos de las cosechas de 10 campañas agrícolas, hecho observado en evaluaciones químicas del suelo realizadas en estos ensayos (Díaz, 2001).

Un comportamiento similar presenta el sistema de LF una vez que este sistema funciona bajo el sistema de no remover el suelo. Sin embargo, dentro de esta misma profundidad superficial del suelo. En el sistema de LC, la DA del suelo parece tener otro comportamiento en relación a SD si tomamos en cuenta que después de las 10 campañas agrícolas, no se apreciaron cambios significativos en los índices de compactación y recién a partir de esta segunda evaluación (1993) ocurren procesos de cambio en la DA con una tasa de compactación que alcanza al 5% comparado al 2001. Un comportamiento similar tiene bajo el sistema de LV, ya que este sistema funcionó en los primeros años con una pasada de un cincel común que no tenía mucha capacidad de profundizar su labor de trabajo y dos pasadas de rastra superficial. Este ligero incremento de la compactación de estos sistemas cuya acción es dispersar las partículas del suelo y hacerlo más esponjoso podrían ser atribuibles a una ligera pérdida de arcilla en esta capa, dada la baja estabilidad estructural que presenta este suelo en un proceso de consolidación del mismo, ya que este suelo es usado experimentalmente después de 2 años del desmonte.

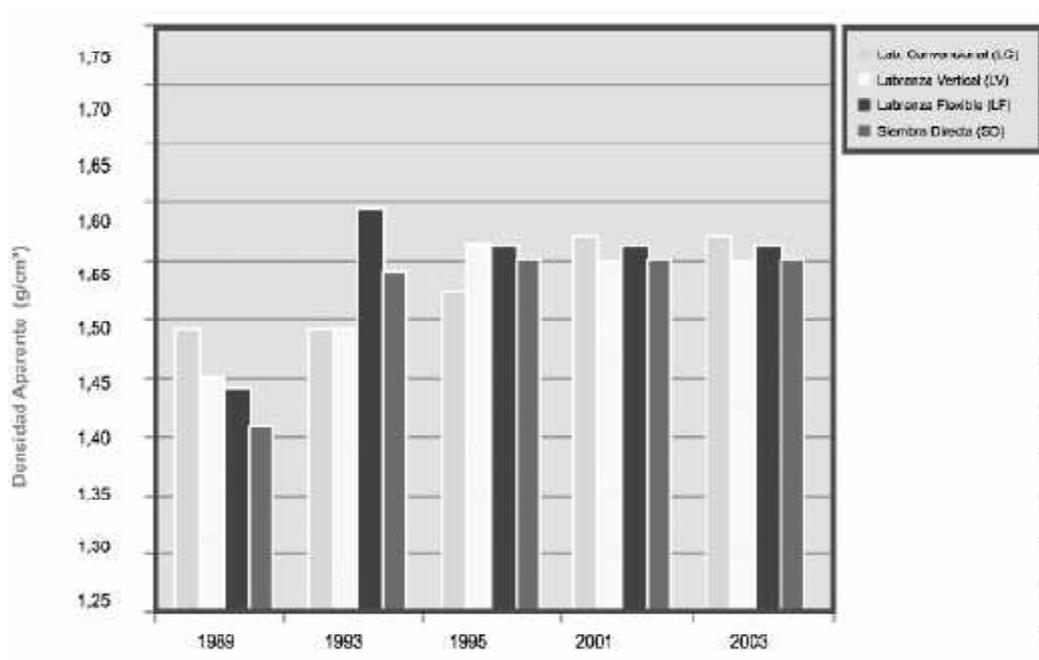


**Figura 1.56.** Efecto de cuatro sistemas de labranza en la densidad del suelo a los 0.05m de profundidad durante 14 años de laboreo continuo del suelo, EEAS, Santa Cruz, 2005.

En la profundidad de 5-10cm (**Figura 1.57**), se presentan resultados contrastantes en relación a los índices de compactación entre los sistemas más conservacionistas como son SD y LF en relación a LC. Las tasas de compactación registradas en SD y LF están próximas al 10% y esto significa una drástica reducción de la porosidad total y principalmente de la macro porosidad en los primeros 4 años de haber iniciado con estas prácticas conservacionistas. Después de 1993, cuando son realizadas las evaluaciones en estos sistemas, los incrementos en la compactación están reducidos manteniendo una estabilidad el grado de compactación alcanzado en 1993. Este hecho se

atribuye principalmente a la acción de presiones que se ejercen con el tráfico de máquinas e implementos durante la preparación de suelos, siembra, fumigaciones y cosecha en un suelo de origen aluvial con débil estabilidad estructural.

Por otra parte, en el sistema de LC en los primeros cuatro años, en esta misma profundidad, no se observan cambios en los índices de compactación porcentual del suelo y a partir de esta fecha (1993) recién se observan cambios alrededor del 7%, que podrían ser por efecto de consolidación o estabilización del suelo con la acción de las labranzas.



**Figura 1.57.** Efecto de cuatro sistemas de labranza en la densidad del suelo entre 0.05-0.10m de profundidad durante 14 años de laboreo continuo del suelo, EEAS, Santa Cruz, 2005.

En la profundidad de 10-15cm (**Figura 1.58**), se aprecia un comportamiento diferente en el proceso de compactación de los suelos bajo los efectos de las labranzas conservacionistas, al apreciar que en este segmento del suelo los mayores índices de compactación están entre el 7 y 10%, y ocurren en el sistema de LC y LV; tasas del 5 al 8% se observan en SD y LF. Después de 1993, los índices de compactación son tan bajos que en algunos casos no existen datos de compactación entre una y otra fecha de evaluación. Estos resultados colocan en clara evidencia que los procesos de compactación

están en función de la profundidad de labranza alcanzada con estos implementos y si tomamos en cuenta este hecho, debemos indicar que el LC realiza una labor de trabajo muy superficial, (10-12cm), inclusive el sistema vertical cuando el suelo esta seco es muy duro y ve muy limitada su acción en la profundización de sus implementos. En SD las tasas de compactación también continúan, aunque con índices más moderados si se compara con el proceso intensivo de compactación que ha sufrido en la capa anterior que se ha considerado.

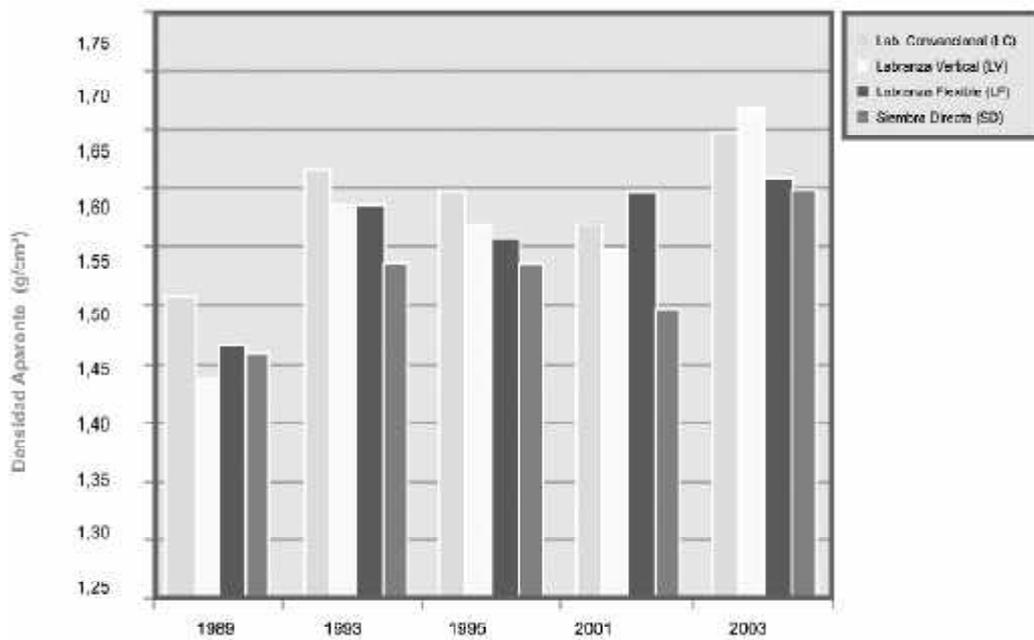


Figura 1.58. Efecto de cuatro sistemas de labranza en la densidad del suelo entre 0.10-0.15m de profundidad durante 14 años de laboreo continuo del suelo, EEAS, Santa Cruz, 2005.

La dinámica de compactación del suelo franco arenoso por efecto de las labranzas en la profundidad de 15 a 20cm (Figura 1.59), no muestran procesos diferenciales de expresión de compactación entre las labranzas en ninguno de los períodos evaluados, y por lo tanto, no presentan un modelo o

característica de compactación como se ha descrito para las profundidades anteriores por efecto de la acción de los implementos. Si bien se aprecia la compactación, estos están en un orden de moderado a bajo que no permite emitir mayores consideraciones.

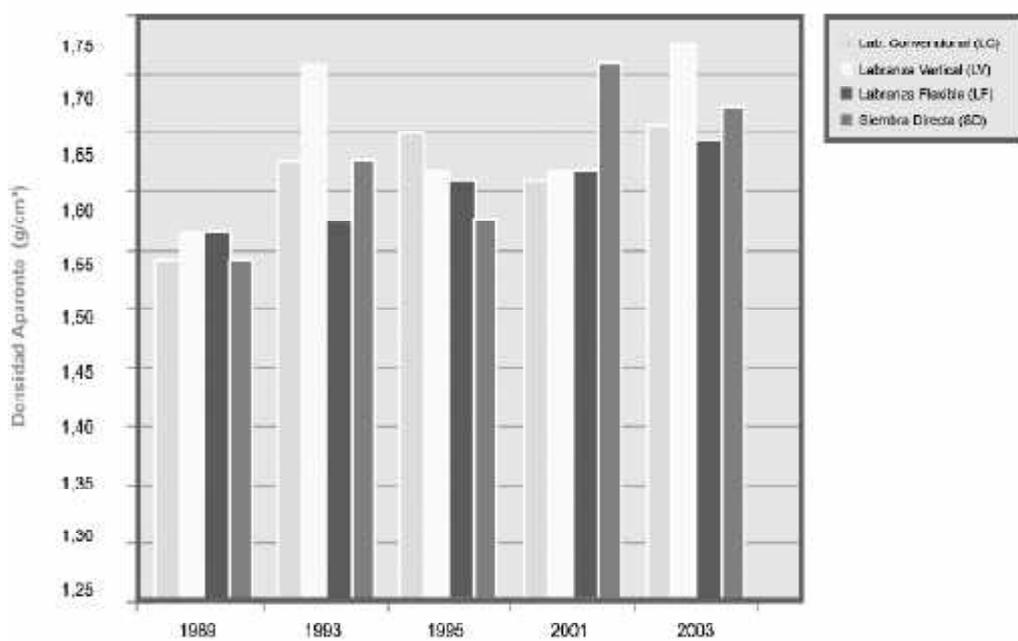
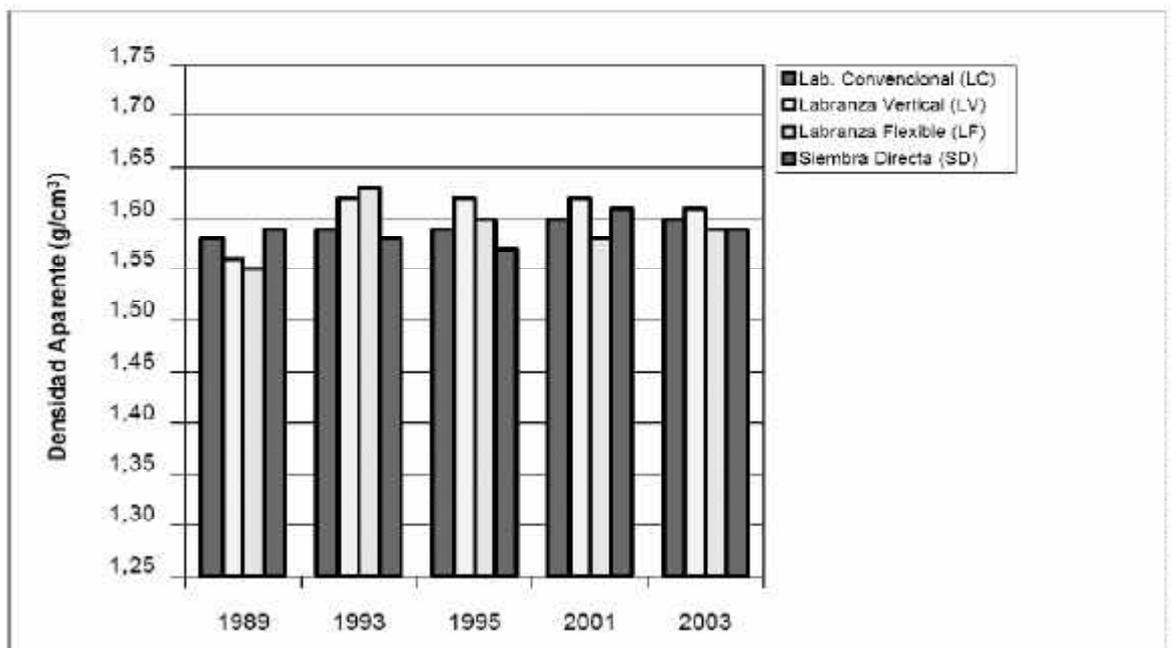


Figura 1.59. Efecto de cuatro sistemas de labranza en la densidad del suelo entre 0.15-0.20m de profundidad durante 14 años de laboreo continuo del suelo, EEAS, Santa Cruz, 2005.

La acción de las labranzas en el segmento de suelo comprendido entre 20-25cm (**Figura 1.60**) también presentan expresiones similares a lo que ocurre en la profundidad de anterior, donde no hay persistencia de sus índices de compactación que permitan concluir alguna relación de causa y efecto

to a las operaciones de labranza y tráfico de fumigadoras y cosechadoras, como se presentan en las capas superiores del suelo y esto parece indicar, que la acción de la máquinas e implementos no han llegado a tener efectos más expresivos.



**Figura 1.60.** Efecto de cuatro sistemas de labranza en la densidad del suelo entre 0.20-0.25m de profundidad durante 14 años de laboreo continuo del suelo, EEAS, Santa Cruz, 2005.

Este análisis de los datos de compactación del suelo en base al parámetro de DA expresado en valores porcentuales, permite identificar las profundidades críticas de compactación para tomar en consideración determinadas prácticas de manejo de suelo.

La parcela bajo estudio con diferentes sistemas de labranza sufrió un proceso de compactación en diferente proporción hasta los 0.20m.

Los cambios en la DA han sido con mayor intensidad a los 0.05-0.10m en los primeros cuatro años de práctica permanente de SD, mientras que en la parcela bajo LC, se registraron mayores niveles de compactación durante los 4 primeros años.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJHUACHO, E.A. 1994. *Efecto de labranzas y fertilización residual en el suelos y el rendimiento de la soya (Glycine max L)*. Verano, 1991-92 Tesis de Grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma "Gabriel René Moreno" Santa Cruz.
- BARBER, R. *et al.* 1994. *Comparación entre tres sistemas de labranza conservacionista y labranza convencional con discos durante ocho estaciones en un Haplustalf típico en Santa Cruz*. CIAT. Santa Cruz. 51p.
- BARBER, R. *Soil degradation in the tropical lowlands of Santa Cruz*. Eastern Bolivia. Lan Degradación Rehabilitación., 6: 95-107.
- DÍAZ, O. 1993. *Manejo de Sostenible de Suelos in Manual Para el cultivo de soya en el Departamento de Santa Cruz*. CIAT.

# PRINCIPALES PROBLEMAS EN EL ESTABLECIMIENTO Y EMERGENCIA DE SIEMBRAS CON CERO LABRANZA: SITUACIÓN EN EL SUR DE CHILE

*por Nelba Gaete Castañeda;  
Juan Inostroza F.  
INIA Carillanca. Temuco, Chile*

## I. INTRODUCCIÓN

A partir del momento que el hombre, hace más de 3.500 años, interviene su entorno para realizar agricultura, se han producido desequilibrios en el medio ambiente. En muchos casos, ello ha significado la pérdida del recurso suelo debido a procesos de erosión, como consecuencia del uso del fuego, como un medio de habilitación de éste para la siembra y eliminación de rastrojos provenientes de las cosechas y del tipo de labranza del suelo para establecer nuevos cultivos.

Como una solución práctica a los problemas de erosión asociados al sobre laboreo de los suelos, en la década del 70 aparece la técnica de establecimiento de cultivos denominada cero labranza; realizándose las primeras evaluaciones con siembras de avena y trigo en la zona centro sur de Chile. La gran difusión de la cero labranza se produce a fines de los 80 con un importante aumento de la

superficie establecida bajo este sistema, así como del número de agricultores que la utilizan a escala comercial. Los agricultores estimulados por el alto grado de eficiencia alcanzado en el control de malezas, la facilidad de manejo de grandes superficies de siembra y una mayor disponibilidad de máquinas especializadas, utilizan con relativo éxito el sistema de cero labranza para el establecimiento de sus cultivos de cereales y colza.

El uso de la cero labranza como una técnica conservacionista de establecimiento de cultivos plantea la mantención total o parcial de los rastrojos de cosecha producidos por los cultivos. Sin embargo, en la zona centro sur de Chile, la quema de los rastrojos es la acción inicial de la mayoría de los sistemas de establecimiento de cultivos, incluyendo la "Cero Labranza", no obstante, se ha señalado a esta práctica como la iniciadora de una

serie de problemas del suelo como son: compactación superficial y subsuperficial del suelo, pérdida de retención de humedad, falta de aireación, disminución de la actividad biológica, disminución del contenido de materia orgánica, pérdida de la estructura, disminución de la fertilidad natural y en su situación más extrema, la erosión.

Las razones antes mencionadas nos indican que la quema de los rastrojos no debe ser realizada, sin embargo, para los agricultores esta práctica es una forma económica de eliminar altos volúmenes de rastrojos, facilitándoles el establecimiento de los cultivos, aspecto económico-productivo de corto plazo y que no considera los conceptos de conservación dentro del sistema productivo.

En la actualidad, existe la factibilidad técnica de establecer cultivos con volúmenes altos de rastrojo con relativa seguridad. Pruebas realizadas por agricultores a escala comercial y evaluaciones realizadas por INIA Carillanca en el área del secano interior y en el sector de la precordillera andina así lo confirman. Sin embargo, los altos volúmenes de rastrojo generados por los sistemas productivos en el sur de Chile (8-12tt/ha), implican necesariamente realizar un manejo de éstos, obligando a los agricultores a incurrir en gastos que generan un aumento de los costos de producción. La disminución

de los márgenes económicos en los cultivos de cereales y colza ha propiciado las quemadas y los agricultores que en algún momento sembraban manteniendo los residuos de cosecha, en la actualidad han vuelto a hacer uso del fuego.

El presente trabajo entrega antecedentes sobre el uso de cero labranza para establecer cultivos y los principales problemas que se presentan relacionados con el exceso de rastrojo en la zona centro sur de Chile.

## II. ESTABLECIMIENTO CON CERO LABRANZA Y MANEJO DE RASTROJOS

Los residuos vegetales o rastrojos constituyen un importante recurso natural. Pueden ser usados para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y por ende su productividad.

La generación de pajas en los distintos cultivos varía por numerosos factores como especie, variedad, manejo de cultivo (riego o secano), nivel de fertilización y otros; pero existe una relación entre la cantidad de grano cosechado y paja producida que permite estimar los volúmenes de rastrojos en una superficie determinada (**Cuadro 1.55**).

**Cuadro 1.55.** Producción aproximada de residuos de diferentes cultivos.

Cultivos	tt de residuo / tt de grano
Trigo	1.6
Cebada	1.0
Canola	2.2
Arveja	1.0

Fuente: Alberta Agriculture, Food and Rural Development Home Page, 1996.

Evaluaciones realizadas en la IX Región para cebada y avena señalan relaciones de residuo/grano cercanas a 1 y altos volúmenes de producción de rastrojo (**Cuadro 1.56**).

Los altos rendimientos físicos alcanzados por los

cultivos en la zona centro sur, implican una alta producción de rastrojos. Evaluaciones realizadas en el valle central de la IX Región (Inostroza, 1996), señalan rendimientos de 8000kg/ha de grano, con una producción de 12tt/ha de rastrojo base materia seca (14.3tt/ha como material en fresco).

**Cuadro 1.56.** Peso de los componentes en dos cultivos bajo cero labranza en la IX Región.

Cultivo	Gavilla (tt/ha)	Grano (tt/ha)	Tallos y hojas (tt/ha)	Capotillo (tt/ha)	Restos (tt/ha)
Avena	9.39	5.26	3.29	0.59	0.25
Cebada	11.52	6.28	3.98	1.17	0.08

Fuente: Informe Técnico Depto. Recursos Naturales y Med. Ambiente, INIA Carillanca, 1997.

En el sector de la precordillera andina, el rendimiento de trigo alcanzó a 5.650kg/ha con una producción de 6tt/ha de rastrojos (Inostroza, Aravena, 1999). Por otra parte, Ferrada y Godoy (1996), señalan rendimientos comerciales, bajo la condición del secano interior de la IX Región de 6.300, 3.600 y 4.800kg/ha, para trigo, colza y avena respectivamente, en un predio donde se mantuvo con manejo de rastrojos durante seis años. Sin embargo, bajo estas condiciones existen algunos aspectos que afectan el rendimiento como son: la población de plantas, limitantes sanitarias como mancha ocular, babosas y ataque de pájaros.

### III. PRINCIPALES PROBLEMAS EN EL ESTABLECIMIENTO Y EMERGENCIA CON CERO LABRANZA

#### MAL ESTABLECIMIENTO POR EXCESO DE RASTROJOS

El principio básico del uso del sistema de cero labranza implica dejar sobre la superficie del suelo restos vegetales o rastrojo como protección. Siembras de cereales con rendimientos de 6000kg/ha dejan sobre el suelo volúmenes de rastrojo superiores a 8tt/ha, afectando por lo general el funcionamiento de los sistemas abridores de surco de las máquinas sembradoras, a causa de la saturación de la línea de siembra o "atollamiento" con paja. Esto deja un porcentaje de semillas destapadas o ubicadas fuera del surco de siembra.

Sumado a lo anterior, las bajas temperaturas en invierno y suelo seco en verano, limitan la descomposición y acción de los microorganismos sobre los rastrojos. Producto de la lenta tasa de descomposición, de las características propias de los suelos y las condiciones climáticas al momento de la siembra, se generan serios problemas de establecimiento

to y posterior emergencia de los cultivos sembrados con cero labranza.

Ensayos de cero labranza, realizados en suelos Ultisoles del secano interior de la IX Región, con cebada sobre rastrojo de trigo, con volúmenes de residuos de 0.5 y 10tt/ha (picado y distribuido manualmente), indicaron que no existían diferencias significativas en la emergencia, número de tallos, número de espigas y rendimiento del cultivo. En el tratamiento sin rastrojo, los rendimientos siempre fueron mayores (Inostroza, 1996).

Una situación diferente fue reportada por Vidal y Troncoso (2003), en estudios realizados de manejo de rastrojos y su efecto en la emergencia, población final de plantas y rendimiento en cultivos de trigo, avena y colza, en suelos Andisoles de la VIII Región, señalando que la germinación se puede afectar negativamente por la presencia de residuos sobre el suelo (**Cuadro 1.57**). En el caso de trigo, éste presentó el menor efecto, la población de espigas no manifestó diferencias significativas entre los distintos manejos, debido a la capacidad de este cultivo para compensar la reducción del número de plantas germinadas con una mayor inducción de macollos.

Por el contrario, la colza fue el que presentó la mayor susceptibilidad a la presencia de rastrojos. La germinación y la población final se redujeron en los casos donde existía presencia de residuos, lo que afectó negativamente el rendimiento final del cultivo en relación con el uso de quema.

Los menores rendimientos obtenidos en trigo y avena con el manejo de rastrojo hilerado (dejando franjas libres entre 9 y 15m) es consecuencia de la superficie ocupada por la hilera de rastrojos que queda sin sembrar. Esto equivale en promedio a 8-13% de la superficie total. En los casos donde el manejo fue con rastrojo picado y parado, no hubo diferencias significativas. La quema tuvo los mayores rendimientos en todos los cultivos.

**Cuadro 1.57.** Efecto del manejo de residuos sobre el porcentaje de germinación, población final y rendimiento de granos, en trigo, avena y colza.

Tratam.	Trigo			Avena			Colza		
	Germ. (pl./m <sup>2</sup> )	Pob. Final (ejes/m <sup>2</sup> )	Rend. (tt/m <sup>2</sup> )	Germ. (pl./m <sup>2</sup> )	Pob. Final (ejes/m <sup>2</sup> )	Rend. (tt/m <sup>2</sup> )	Germ. (pl./m <sup>2</sup> )	Pob. Final (ejes/m <sup>2</sup> )	Rend. (tt/m <sup>2</sup> )
<b>Quemado</b>	368	440	6.75	373	383	5.73	117	74	3.35
<b>Hilerado</b>	348	429	5.20	336	398	4.67	114	86	2.31
<b>Picado</b>	318	436	6.37	254	337	4.85	66	57	2.25
<b>Parado</b>	307	400	6.17	271	337	4.95	55	51	2.30

Fuente: Vidal, I. y Troncoso, H. (2003).

REF: GERM: Germinación; POB: Población; REND: Rendimiento; pl/m<sup>2</sup>: plantas/m<sup>2</sup>

En evaluaciones de la eficiencia de siembra de cinco tipos de máquinas de cero labranza, en un suelo Andisol con 6tt/ha de rastrojo de trigo (en el cual se había retirado el rastrojo del cordón de la cola), se comprobó que éstas presentaron un buen desempeño, con una eficiencia de establecimiento de un 90% de las plantas (Inostroza, Aravena, 1999). En evaluaciones realizadas en el ámbito de la agricultura campesina por Gaete e Inostroza (2000), se determinó que el desempeño de una máquina de cero labranza de tiro animal, en suelos transicionales del sector costero de la IX Región, fue adecuado cuando el nivel de residuos no excedía las 2.5tt/ha.

Otro problema característico se produce durante el invierno, cuando el rastrojo excesivamente húmedo adquiere una consistencia flexible y por lo blando del suelo, no es cortado por los sistemas abridores de las máquinas. En estas condiciones, el rastrojo es introducido en el surco de siembra junto con la semilla, la cual queda literalmente “colgada” entre la paja, imposibilitando o haciendo defectuoso su arraigamiento.

#### CAMBIO EN LA DINÁMICA DE LAS MALEZAS Y PLAGAS

En siembras de cero labranza bajo condiciones de diferentes tipos de manejo de residuos sobre el suelo, se generan cambios físicos y químicos en el ambiente donde interactúan las malezas y los herbicidas, provocando la desaparición de algunas especies y la aparición de otras. También se generan aumentos de la población del gastrópodo *Derocera reticulatum* (babosa).

Ambos problemas provocan limitaciones en la productividad de granos por competencia y daño a las plántulas emergidas, provocando un incremento en los costos por la necesidad de resiembra de los cultivos y uso de cebos.

En Chile, en los últimos años, algunas malezas como raigrás (*Lolium multiflorum*), vulpia (*Vulpia bromoides*), viola (*Viola arvensis*) y lengua de gato (*Galium aparine*) han adquirido importancia en la zona productora de cereales, especialmente en el sistema de cero labranza (Acevedo y Silva, 2003).

Estudios realizados por Rouanet (1996), en suelos Ultisoles del secano interior de la IX Región, mostraron que con un manejo óptimo de ambas limitantes, en siembras directas con 2 a 4tt/ha de rastrojos, el rendimiento de avena y lupino experimenta un aumento en aproximadamente un 30% y 10% respectivamente.

#### EFFECTOS ALELOPÁTICOS

La alelopatía es el grado de inhibición del crecimiento que provoca una planta sobre otra, entre especies diferentes y entre cultivares de una misma especie a causa de la liberación de compuestos químicos (aleloquímicos). Los síntomas que expresan las plantas en campo son reducción de la germinación, menor vigor de la plántula, radículas con escaso desarrollo, muerte de plántulas y amarillamiento de hojas.

Estudios realizados por Silva (2003, datos no publicados) en especies de lupino cultivadas en Chile, han mostrado diferente sensibilidad a los extractos de rastrojo de trigo, observándose que existe relación en la variabilidad genética y la sensibilidad a la alelopatía de los rastrojos sobre el largo de la radícula. *Lupinus albus* reduce el largo de su radícula a medida que aumenta la concentración de extractos, *Lupinus angustifolius* no presenta cambios.

Las rotaciones que se realizan bajo el sistema de cero labranza deben considerar el efecto alelopático de los rastrojos y la sensibilidad del siguiente cultivo a establecer. Trabajos realizados por Silva (2003, datos no publicados) en invernadero, indican que los rastrojos de cereales de invierno (trigo, triticale, avena) no afectan el establecimiento de los mismos cereales, sin embargo, provocan problemas en el establecimiento de leguminosas como garbanzo, lenteja y lupino.

El efecto alelopático de los rastrojos que permanecen sobre el suelo está escasamente estudiado en Chile. La descomposición de los rastrojos comienza con el período de lluvias (invierno) y coincide con la época de siembra y la mayor liberación de los compuestos alelopáticos, dejando expuesta a la semilla y plántula en los períodos de mayor concentración de los compuestos.

Este problema es importante en las zonas donde se practica la cero labranza, dado que en Chile generalmente se obtienen altos rendimientos, lo que implica altas cantidades de rastrojos. Como la cantidad de aleloquímicos está directamente relacionada con la producción de biomasa, el problema de la alelopatía se agudiza.

#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, E.; SILVA, P. 2003. *Agronomía de la cero labranza*. Malezas en cero labranza. Serie Ciencias Agronómicas N° 10. Universidad de Chile, Santiago, Chile. pp.99-106.

ALBERTA AGRICULTURE. 1996. Food and Rural Development  
Home Page. <http://www.agric.gov.ab.ca/>

FERRADA, S. y GODOY, A. 1996. *Antecedentes económicos del cultivo trigo, raps y avena en cero labranza y siembra tradicional*. Serie Carillanca N° 54. *In*: Día de Campo "Cero labranza y agricultura conservacionista". Nueva Imperial, Chile.

GAETE, N. y INOSTROZA, J. 2000. *Capacitación en técnicas de conservación de suelos para el control de la erosión en el secano costero de la IX Región*. Informe final proyecto Gobierno Regional de la Araucanía. Temuco, Chile. 71p.

INIA. 1997. Informe Técnico Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, INIA Carillanca, Temuco, Chile.

INOSTROZA, J. 1996. *Evaluación en manejo de residuos*. Serie Carillanca N° 54. *In*: Día de Campo "Cero labranza y agricultura conservacionista". Nueva Imperial, Chile.

INOSTROZA, J. y ARAVENA, F. 1999. *Eficiencia de siembra de cinco máquinas de cero labranza con una alta carga de rastrojo en el suelo*. *In*: 14° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Comisión Conservación y manejo de suelo y agua. Pucón, Chile.

ROUANET, J.L. 1996. *Labranza conservacionista*. Respuesta productiva de los cultivos anuales. Tierra Adentro N° 10:44-46.

SILVA, P. 2003. *Efecto alelopático de los rastrojos*. *In*: Acevedo, E. (Ed.). Sustentabilidad en cultivos anuales. Cero labranza. Manejo de rastrojos. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. Universidad de Chile, Santiago, Chile. pp.83-97.

VIDAL, I. y TRONCOSO, H. 2003. *Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza*. *In*: Acevedo, E. (Ed.). Sustentabilidad en cultivos anuales. Cero labranza. Manejo de rastrojos. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. Universidad de Chile, Santiago, Chile. pp.57-82.



# PROBLEMAS DE IMPLANTACIÓN Y DE EMERGENCIA DE LOS CULTIVOS EN SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA EN EL SUR DE BRASIL

*por Eleno Torres;  
Fernando A. F. Portugal;  
Odilon F. Saraiva  
Embrapa-Soja, Londrina, PR, Brasil  
José E. Denardin  
Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, Brasil  
Enoir Pellizaro  
C. Vale Cooperativa Agroindustrial, Palotina,  
PR, Brasil*

## I. INTRODUCCIÓN

En razón de los avances ocurridos estos últimos años en Brasil, en el desarrollo de sembradoras para los cultivos, principalmente cultivos anuales, los problemas de implantación, emergencia y uniformidad de cultivos en Sistema de Siembra Directa (SSD), provocados por el dimensionamiento de las sembradoras fueron reducidos a niveles bajos. Las sembradoras fueron mejoradas, permitiendo una buena calidad en la implantación de los cultivos de soja y de cualquier otro cultivo, desde que la información sobre la regulación se realiza en función de las características de las semillas, el tipo y

la cobertura del suelo por los restos del cultivo. Actualmente, más allá de la información proveída por los fabricantes, algunas instituciones de investigación y extensión realizaron demostraciones dinámicas de las sembradoras para el SSD, que resultan en publicaciones (Araújo *et al.*, 2001; Casão Júnior *et al.*, 2000; Casão Júnior *et al.*, 2001), conteniendo detalles sobre el comportamiento de las sembradoras relacionados con, la calidad de la siembra (abertura del surco, profundidad de siembra, corte del rastrojo, retorno del rastrojo al surco de siembra, etc.), con la emergencia de las plantas, la veloci-

dad de siembra, las regulaciones y la seguridad. En razón de esto, existen varios modelos de sembradoras disponibles en el mercado que hacen posible que la implantación de los principales cultivos anuales, como la soja, el maíz, las habas y los cereales de invierno, se realicen con un buen nivel de eficiencia.

Cuando ocurren los problemas de implantación de cultivos, relacionados con las sembradoras, son causados principalmente por falla humana, es decir, por la falta de cuidados durante la regulación (nivelación, altura y presión de los resortes, profundidad de siembra, los machetes o los surcadores, presión de las ruedas compactadoras sobre las semillas, etc.) o por la elección incorrecta de algunos accesorios, como los discos para la distribución de las semillas. El uso de semillas de mala calidad, en menor escala, también ha sido un problema, el cual es agravado por la ausencia del tratamiento de las mismas con fungicidas, principalmente cuando ocurren períodos de déficit hídrico en la fase de germinación y emergencia de las plantas.

El problema más grave en la implantación de culti-

vos, en las últimas zafras agrícolas, ocurrió principalmente en las regiones oeste y norte del Estado de Paraná, sur del Estado de São Paulo y, esporádicamente, en algunas regiones de los Estados de Mato Grosso del Sur y Mato Grosso (**Figura 1.61**). El problema denominado “muerte de plántulas” fue más observado en los suelos originados del basalto, principalmente en los de menor profundidad efectiva y/o con un horizonte B textural, caracterizando su baja capacidad de drenaje. Este problema fue más intenso cuando las fases de germinación y emergencia de la soja coincidieron con largos períodos de lluvias intensas e intermitentes que anegaban el suelo, disminuyendo drásticamente su aireación. Las plántulas de soja presentaron inicialmente una lesión en la extremidad de la raíz principal, seguida por infección causada por hongos encontrados normalmente en el suelo. El daño comprometía la raíz, haciendo que las plantas de soja murieran o presentaran un menor desarrollo, originando, con esto, cultivos con gran cantidad de faltas de plantas.



Figura 1.61. Regiones de Brasil donde fueron constatados los casos con problemas de emergencia y muerte de plántulas de soja.

## II. SÍNTOMAS DEL PROBLEMA EN LAS PLÁNTULAS DE SOJA

Las plántulas presentaron inicialmente un desarrollo reducido, con marchitez y necrosis del hipocótilo. El análisis detallado de esas plantas, demostró podrición en la extremidad de la raíz principal. Después de esta fase, la mayor parte de las raíces fue-

ron infectadas por hongos fitopatógenicos encontrados normalmente en el suelo, especialmente *Fusarium* sp., *Sclerotium rolfsii*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*. La infección de la raíz y del hipocótilo causó la muerte de plántulas y las que

sobrevivieron presentaron una reducción en su desarrollo. El nivel de gravedad en los cultivos fue variable en función del tipo, la profundidad, el manejo y la humedad del suelo y el grado de tolerancia de los cultivares de soja. En algunas situaciones, hubo muerte casi total de plántulas, exigiendo que el cultivar fuera sembrado nuevamente.

### III. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO, MANEJO Y CULTIVO EN LAS ÁREAS DONDE OCURRIÓ EL PROBLEMA

#### SUELO

En evaluaciones preliminares, se constató que la mayor incidencia de muerte de plántulas ocurrió principalmente en suelos de poca profundidad efectiva originados del basalto, pues, aproximadamente el 70% de los problemas ocurrieron en las tierras rojas, clasificadas actualmente como nitosoles, cambisoles y litosoles (neosoles). Apenas el 30% de las ocurrencias fueron verificadas en los latosoles que son suelos bien desarrollados, profundos y presentan buen drenaje. En éstos, el problema fue relacionado con la compactación causada por el manejo incorrecto del suelo a lo largo de los años, debido al tráfico excesivo y/o realizado con vehículos y equipos inadecuados (pesados, estrechos, etc.) que ocurrió, la mayoría de las veces, en las áreas de las curvas (cabeceras), lugares del tráfico intenso, por lo tanto, más predispuestos a la compactación.

En los suelos púrpuras (nitosoles), en los cambisoles y en los líticos (neosoles) la causa, necesariamente, no fue el manejo del suelo, sino que estuvo muy relacionada con las propias características de formación de esos suelos como la profundidad efectiva, el tipo de arcilla, estructura y capacidad infiltración y drenaje del agua. Los suelos púrpura, muchas veces, pueden tener buena profundidad, sin embargo, presentan en la fracción arcilla, arcillas tipo 2:1 expansivas, a diferencia de los latosoles, en los cuales predominan las arcillas del tipo 1:1, no expansivas. Las arcillas del tipo 2:1, cuando se mojan, tienden a expandirse y aumentan su volumen. Este hecho, o tipo de estructura en bloques y horizonte B textural (horizonte con alto contenido de arcilla, alrededor de 80%), casi siempre con alta densidad global y baja porosidad, disminuye drásticamente la infiltración, el drenaje y la aireación del suelo bajo condiciones de lluvias intensas e intermitentes. Esto contrasta con la información en la literatura, de que los suelos púrpuras tienen buena permeabilidad y drenaje. Los cambisoles y los neosoles, más allá del tipo de arcilla y de su estructura, son suelos con características naturales de baja profundidad efectiva y, por lo tanto, con poco drenaje.

#### MANEJO DEL SUELO Y SISTEMA DE CULTIVO

Más allá de las características del suelo, el manejo anterior de estas áreas en los últimos 20 años, fue caracterizado por el uso intensivo de implementos que movilizan y pulverizan el suelo. Primero, eran arados utilizando arados de discos y rejillas pesadas y, más adelante, escarificadores o subsoladores para la preparación primaria del suelo. Estas operaciones, seguidas del uso de la reja liviana para dejar el terreno nivelado y pulverizado facilitando así las operaciones de siembra, provocaron, a través de los años, una intensa erosión que redujo el espesor del horizonte A, los niveles de fertilidad y la materia orgánica del suelo, tornándose más susceptibles a la compactación y consecuentemente, a los problemas de infiltración, drenaje y aireación. Hace aproximadamente sólo ocho o diez años, que el SSD fue introducido. La secuencia de cultivos adoptada en esas áreas se basa, casi totalmente, en la rotación soja/maíz de segunda, por lo tanto, en la adopción de un sistema ordenado de rotación que posibilita la reducción de la compactación y la presión de patógenos radiculares.

#### DENSIDAD GLOBAL DEL SUELO

Los problemas mencionados de alta densidad de los suelos (mayor a  $1,31\text{g/cm}^3$  en las áreas con problemas) debidos a las características de formación y/o a las prácticas de manejo, son conocidos por los agricultores. Por lo tanto, en esas áreas, son utilizadas rutinariamente sembradoras dotadas con cuchilla abresurco a una profundidad de 10-15cm, para movilizar y disminuir la resistencia del suelo en las líneas de siembra. Sin embargo, esta operación no ha sido efectiva para eliminar completamente el problema del mal drenaje del suelo y la ocurrencia de muerte de plantas, porque la causa está inmediatamente abajo de la capa trabajada, es decir, en el horizonte B textural, con un arreglo estructural que le confiere alta densidad y baja permeabilidad a los suelos y/o baja profundidad efectiva. Así, es común observar, en algunos campos, que, aunque el suelo esta suelto en la línea de siembra por el uso del machete, rápidamente se torna anegado con el exceso de lluvia, presentando plantas muertas o con daños similares a los observados en las áreas de mayor resistencia sin el uso del machete.

#### **IV. POSIBLES CAUSAS DEL PROBLEMA DE LA MUERTE DE PLÁNTULAS**

Ese medio con poca aireación y poder reductor puede desencadenar algunas alteraciones biológicas y químicas en el suelo. La población microbiana es modificada, seleccionando o aumentando la virulencia de algunos patógenos. Pueden ocurrir también reacciones químicas en el suelo perjudiciales a las plantas, provocando la aparición de sustancias o elementos tóxicos. Estas alteraciones químicas, son las hipótesis más probables para explicar los primeros daños que ocurren en la extremidad de la raíz principal. La falta de oxígeno en el suelo, puede provocar: la reducción del hierro, manganeso, cobalto, cobre, cinc y sulfuro, formas tóxicas a las plantas; la reducción de la materia orgánica para el alcohol, los aldehídos y metano y la reducción del nitrato para el nitrito, etc. (Grable, 1966; Drew e Stolzy, 1996; Larcher, 2000). Y, por otra parte, puede aumentar en el suelo la concentración de etanol, ácido abscísico, etileno y de sus precursores (Larcher, 2000). En la evaluación de los síntomas, se observó que muchas de las plantas de soja afectadas presentaron epinastía (crecimiento de las hojas orientado hacia abajo) y, también, que las raíces afectadas habían perdido el geotropismo, presentando un crecimiento desordenado, muchas veces hasta ascendente, debido a lesión ocurrida en la región apical de la raíz, lugar de estímulo de orientación para el crecimiento radicular.

En algunos casos, la salinidad provocada por las altas concentraciones de fertilizantes en la línea de siembra, principalmente cuando el machete se utiliza incorrectamente y provoca el encharcamiento del surco, también puede ser la causa del daño en la raíz.

#### **V. INFLUENCIA DEL AÑO EN LA INCIDENCIA DE LA MUERTE DE PLÁNTULAS**

La intensidad de ocurrencia de la muerte de plántulas fue relacionada con la distribución de las lluvias verificadas en los diferentes años. Aquellos en los que las lluvias fueron más intensas, como en el 2002/03, la gravedad del problema fue mayor, sin embargo, su intensidad varió con el tipo, la profundidad y el manejo del suelo, la época de siembra y su relación con el régimen hídrico y con la reacción de los cultivares. Las alteraciones o interferencias en cualquiera de estos factores modificaron la intensidad del problema.

#### **VI. RESULTADO DE LAS SOLUCIONES TENTATIVAS FRENTE AL PROBLEMA**

##### *CULTIVARES Y RESIEMBRA DE LA SOJA EN LA MISMA ÁREA*

- Con el exceso de lluvias coincidiendo con los primeros estadios del desarrollo de la soja, la mayoría de cultivares presentaron nuevamente el problema, con excepción de los cultivares CODETEC 201, CODETEC 208 y BRS 214, más tolerantes al problema y el cultivar CODETEC 206 medianamente tolerante. Esta información es preliminar y necesita ser comprobada científicamente.
- Con la distribución normal de las lluvias, todos los cultivares presentaron un desarrollo casi normal, presentando una menor tasa de mortalidad de plántulas.
- Los cultivares más sensibles al problema fueron EMBRAPA 48 y CODETEC 202, seguido por BRS 133. No fue posible, con base en información científica, presentar una lista completa conteniendo los cultivares tolerantes y los más sensibles al problema. Cuando los experimentos fueron instalados en lugares con el problema, la fase crítica del desarrollo de la soja no coincidió con las lluvias intensas e intermitentes, provocando que todos los cultivares tuvieran un desarrollo normal inclusive los testigos sensibles al problema.

##### *ESCARIFICACIÓN DEL SUELO*

- Con exceso de lluvias, en suelos de baja profundidad efectiva, hubieron casos en los que, mismo con la escarificación, se verificó la recaída del problema; en los suelos más profundos los casos positivos fueron en mayor número.
- Con la distribución normal de las lluvias, prácticamente no hubo efecto de la escarificación, o sea, que con o sin escarificación la soja tuvo un buen desarrollo.

## VII. CONSIDERACIONES FINALES

En caso de que ocurran, en los próximos años, períodos de gran concentración de lluvias, coincidiendo con las fases de germinación, emergencia y primeros estadios de la soja, los problemas de la muerte de plántulas pueden volver a repetirse, principalmente en las áreas anteriormente presentadas. Para disminuir los riesgos de reincidencia en el problema, es importante adoptar los siguientes cuidados en el cultivo de la soja:

- En las áreas de SD procurar evitar el movimiento del suelo con el arado. Esa práctica puede mejorar el drenaje y disminuir el inóculo de las enfermedades del suelo, no obstante, reduce la materia orgánica y trae consigo erosión que, por muchos años, disminuye el potencial productivo del suelo.
- Utilizar rotación de cultivos con la soja. Siempre que sea posible, utilizar especies con sistema radicular profundo o diferenciado, como el nabo forrajero, lupino, o guando y la avena negra y los coasociados de nabo con avena negra, de lupino con avena negra, de maíz de verano con guando enano, de maíz de segunda zafra con avena negra, etc. El uso de la rotación de cultivos comprobadamente disminuye la compactación del suelo, mejora la distribución de las raíces en el suelo y, por otra parte, disminuye la incidencia de los patógenos del suelo.
- Utilizar los equipos adecuadamente. Nunca manejar los restos del cultivo o incorporar las semillas con la reja niveladora. La rejilla niveladora aumenta la compactación del suelo y semi-incorpora los restos del cultivo. Esta práctica puede aumentar la población de los hongos del suelo, algunos patógenos de las raíces de la soja.
- En el caso de necesidad de hacer descompactación mecánica (consultar la publicación hecha por Torres y Saraiva, 1999), principalmente en las cabeceras, realizar la opción por los modelos de los escarificadores cuyo formato de bielas permite que la camada compactada del suelo se rompa sin afectar mucho la nivelación del terreno, posibilitando que la siembra se realice sin el uso de la reja niveladora, preservando gran parte del rastrojo sobre la superficie del suelo. El uso de la rejilla niveladora provoca compactación, disminuye la materia orgánica y provoca la erosión del suelo. El mejor período para realizar la operación de escarificación es después de la cosecha de la soja y, preferencialmente, en los meses de abril y de mayo, para disminuir la probabilidad de erosión.

Preparar el suelo en estado de consistencia friable, para no formar muchos terrones, dado que perjudican un poco la eficiencia de descompactación del suelo. Se recomienda, después de la operación de preparación, esperar una o dos lluvias, para que el suelo se asiente, para después realizar la siembra y en ese caso, con velocidad de operación reducida, procurando con eso evitar el atoramiento de la sembradora.

- Hacer la operación de siembra con la sembradora nivelada y utilizar los machetes con el correcto dimensionamiento para evitar el encharcamiento del surco. El abresurco más adecuado presenta un ángulo de ataque (ángulo entre la superficie superior de la zapata y de la horizontal) de 20° y del espesor máximo de la zapata de 20mm.
- Procurar utilizar cultivares consideradas más tolerantes: como CODETEC 201, CODETEC 208 y BRS 214 o CODETEC 206, considerado medianamente tolerante. Esta información todavía es preliminar y necesita ser confirmada en trabajos científicos posteriores.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A.G.; CASÃO JUNIOR, R. e SIQUEIRA, R. 2001. *Mecanização do plantio direto; problemas e soluções*. Londrina: Informe de Pesquisa n° 137, Londrina: IAPAR. 18p.
- CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. e ARAÚJO, A.G. 2001. *Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em Marechal Cândido Rondon - PR: resultados de avaliação*. Londrina: IAPAR. 26p.
- CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A.G. e RALISCH, R. 2000. *Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em Primeiro de Maio - PR: resultados de avaliação*. Londrina: IAPAR. 14p.
- DREW, M.C. and STOLZY, L.W. 1996. *Growth under oxygen stress*. In: Eshel, Y.W.A.; Kafkafi, U. Plant roots hidden half. New York: M. Dekker. pp.397-414.
- GRABLE, A.R. 1966. *Soil aeration and plant growth*. Advances in Agronomy, v.18. pp.57-106.
- LARCHER, W. 2000. *A planta sob estresse*. In: LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: Editora Rima. pp.341-437.
- TORRES, E. e SARAIVA, O.F. 1999. *Camadas de impedimento mecânico dos solo em sistemas agrícolas com a soja*. Londrina: EMBRAPA. CNPSo. 57p. (EMBRAPA.CNPSo. Circular Técnica, 23)



# ALGUNAS RESTRICCIONES FÍSICAS E HÍDRICAS PARA EL CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS EN URUGUAY

*por Jorge Sawchik*  
**INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay**

## I. INTRODUCCIÓN

La siembra directa (SD) comienza a insertarse en los sistemas de producción del Uruguay durante la década del noventa y representa quizás el cambio tecnológico más importante en cuanto a incorporación de nuevas técnicas de manejo de suelo. La SD ha permitido entre otros aspectos, disminuir las pérdidas de suelo por erosión, ampliar la ventana de oportunidades para la realización exitosa de los cultivos, dando una mayor estabilidad a los sistemas de producción.

Así, surgen fuertemente los sistemas de rotación bajo cultivo continuo y una división espacial de las actividades agrícolas y ganaderas dentro de los establecimientos de producción mixtos. Más recientemente, debido entre otras causas a las relaciones de precio favorables para el sector agrícola y cambios en la tenencia de la tierra, se ha desarrollado un proceso de intensificación agrícola a un en suelos considerados marginales para la producción de cultivos.

Este proceso se caracteriza por la definición clara hacia un sistema de agricultura continua bajo SD, con una mayor intensidad de uso de suelo, con el cultivo de soja como elemento central en el crecimiento del área y con la llegada de la agricultura de granos a zonas tradicionalmente ganaderas.

Este incremento de la agricultura y en especial de los cultivos de verano, se da en Uruguay en un marco de alta variabilidad interanual en el régimen de precipitaciones especialmente en los meses de verano. A su vez el área agrícola presenta condiciones edáficas muy variables en cuanto a profundidad de arraigamiento, textura, niveles de compactación, entre otros factores. Así, bajo muchas condiciones, son frecuentes las limitantes físicas e hídricas para la exploración de altos potenciales de rendimiento en los cultivos.

## II. LIMITANTES HÍDRICAS PARA EL CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Sin duda, la disponibilidad y el manejo apropiado del agua representan insumos fundamentales para el desarrollo de sistemas de producción sustentables. El agua tiene un impacto directo sobre la productividad de los cultivos. Ese aumento en la productividad incide en la cantidad de residuos y por ende en la materia orgánica y la estructura del suelo que en definitiva gobiernan la dinámica de este recurso (Gil, 2004).

Los suelos agrícolas del Uruguay presentan una gran variación en la capacidad de almacenaje de agua e incluso esta variabilidad es observada dentro de un mismo lote. Alvarez *et al.* (1989) y más recientemente Molino y Califra (2001), estimaron la capacidad de almacenaje de agua para las Unidades Cartográficas 1:1.000.000 teniendo en cuenta la morfología de los suelos y la probable profundidad de arraigamiento, entre otros factores. Estos autores utilizando la base de datos de las Unidades Cartográficas de la Carta de Reconocimiento de Suelos (escala 1:1.000.000), establecieron cinco grandes clases de agua potencialmente disponible neta para estas unidades cartográficas: muy baja (< a 40mm), baja (40-80mm), media (80-120mm), alta (120-160mm) y muy alta (> a 160mm). Esta información es muy relevante porque adiciona un insumo objetivo para la planificación del uso de la tierra. Así, gran parte de las Unidades de Suelo (escala 1:1.000.000) comprendidas en la principal área agrícola poseen valores de entre 80 y 160mm de agua potencialmente disponible. En la actualidad se desarrollan líneas de trabajo para el chequeo de estos valores en sistemas de SD de cultivos. De todas formas, según la estimación realizada, el agua potencialmente disponible alcanzaría para cubrir en promedio algo más de 1/4 de las necesidades de agua de un cultivo de soja de buen potencial de rendimiento. Eso se refleja en la alta variabilidad del rendimiento promedio de los cultivos de verano y la alta vulnerabilidad de algunas Unidades de Suelo al déficit de precipitaciones.

Para las condiciones de nuestro país, caracterizado por una alta variabilidad climática y de la capacidad de almacenaje de agua de los suelos, resulta prioritario establecer estrategias que maximicen el almacenaje de agua en los suelos, previo a la siembra de los cultivos y la captación de las precipitaciones durante el ciclo de crecimiento de los mismos. Esto es muy relevante ante un escenario de intensificación agrícola, en el que aumenta la frecuencia de cultivos de altos requerimientos hídricos (como maíz y soja en la rotación), o la agricultura tiende a desplazarse a zonas de suelos menos aptos desde el punto de vista del almacenaje de agua.

Dentro de ese enfoque es interesante observar como se comportan los distintos componentes del balance hídrico en nuestra región.

El componente precipitación del balance hídrico presenta para nuestro país una media anual de 1300mm, con isoyetas de suroeste a noreste que van desde 1100 a 1600mm anuales. Sin embargo, la distribución de la precipitación presenta una gran variabilidad inter e intraanual. Si tomamos la serie histórica de datos meteorológicos, los balances hídricos muestran en general déficit hídricos en los meses de verano, especialmente en el mes de enero. Es por ello que como estrategia general se recomienda manejar los cultivos de verano de tal forma que sus respectivos períodos críticos no ocurran en este mes. Esto se ha logrado con bastante éxito manejando las variables época de siembra en maíz y época de siembra y grupos de madurez en el cultivo de soja.

La investigación desarrollada en los últimos años sobre los fenómenos de gran escala (tales como el Niño) y su relación con las tendencias climáticas esperadas para diferentes regiones del mundo, ha permitido el establecimiento de pronósticos climáticos de mediano plazo (3 meses). Esos pronósticos permiten establecer la probabilidad de que las condiciones climáticas esperadas sean cercanas a la normal o que presenten desvíos con respecto a lo normal (Baethgen, Giménez, 2004). El avance en la calidad de esos pronósticos permitiría disminuir los riesgos de las actividades agropecuarias y ayudar en la toma de decisiones.

Del componente precipitación, un porcentaje se pierde como escurrimiento superficial. Trabajos llevados a cabo en INIA La Estanzuela, sobre parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural (promedio de 10 años) demuestran que los picos de escurrimiento ocurren en general a comienzos del otoño y fines de invierno-comienzo de primavera (Sawchik, datos sin publicar). En este trabajo se encontró que la relación escurrimiento/precipitación en los momentos picos de escurrimiento era de 0.40, 0.25 y 0.20 bajo suelo desnudo, agricultura continua con laboreo reducido y agricultura continua bajo SD, respectivamente.

Si bien obviamente la SD redujo el escurrimiento superficial, una de las limitantes para reducir este proceso es la baja tasa de infiltración que en general poseen los suelos del Uruguay, que presentan en general un horizonte B textural con alto contenido de arcilla. Este tema será profundizado en el capítulo referente a limitantes físicas.

Las prácticas de manejo que parecen más adecuadas para reducir el escurrimiento y aumentar la precipitación efectiva y en consecuencia el almacenaje de agua del suelo son entre otras: rotación ade-

cuada de cultivos, uso de SD, empleo de cultivos de cobertura esencialmente durante el invierno y; en sistemas agrícolas, la duración del período de barbecho y el uso de especies que regeneren la macroporosidad del perfil y/o aumenten la tasa de infiltración de los suelos.

La selección de la rotación de cultivos más adecuada, parece ser un elemento importante para lograr una mayor acumulación de agua en el suelo al momento de la siembra. Así, trabajos realizados en INIA La Estanzuela reflejaron mayores contenidos de agua disponible para un cultivo de maíz cuando el antecesor era otro cultivo de verano que cuando se partía de pasturas (Sawchik, datos sin publicar). Bajo esta última situación, las pasturas consumían parte del agua almacenada durante el invierno. Aquí obviamente cabe la consideración de que una duración adecuada del barbecho químico es esencial para permitir la recarga de agua para el cultivo de verano posterior.

El uso de la SD con presencia de rastrojo en superficie aumenta la precipitación efectiva y además, provoca una disminución de la evaporación quedando mayor agua disponible para la transpiración de los cultivos. Por otra parte, en el mediano plazo, bajo SD se regeneran los poros de mayor tamaño (mayores a 0.5mm) creados por acción de raíces y macrofauna del suelo (Micucci *et al.*, 2002). Esto evidentemente tiene un efecto sobre la tasa de infiltración y el flujo de agua en los suelos. En las condiciones de Uruguay, con precipitaciones erráticas durante el verano es muy importante conservar residuos en superficie una vez iniciado el ciclo del cultivo de manera de mejorar la captación de agua por lo menos hasta que el cultivo logre una cobertura completa del suelo.

La utilización de cultivos de cobertura verdes es otra práctica de manejo que puede impactar sobre todo en un aumento de la precipitación efectiva. En nuestras condiciones y bajo sistemas agrícolas, existen situaciones y momentos del año en los que se producen pérdidas de suelo por erosión importantes aun bajo condiciones de SD. Esto es muy común cuando se parte de rastrojos de girasol y soja que dejan un volumen significativamente más bajo de residuos que maíz o sorgo. En ese sentido, Clérico *et al.* (2004), determinaron mediante el uso del modelo USLE/RUSLE, la alta contribución potencial del cultivo de soja a las pérdidas de suelo por erosión. En suelos Molisoles y Vertisoles, la rotación de soja continua en SD determinaba estimaciones de pérdida de suelo por erosión de hasta 25Mg/ha/año en Molisoles de textura franco-limosa. Sin embargo, la inclusión de un cultivo de cobertura de invierno en la rotación reducía las pérdidas por erosión a la mitad. De todas formas en este caso también se superaba el límite de tolerancia de pérdidas de suelo (7Mg/ha).

Queda claro entonces que bajo esas condiciones, muy comunes en el Uruguay, el uso de cultivos de cobertura puede ser una alternativa para disminuir los procesos erosivos y el escurrimiento superficial. Quizás el elemento más importante a considerar sea la elección del momento óptimo para suprimir con herbicida esa cobertura de forma de permitir la recarga de agua del suelo y aun así poder mantener un buen volumen de residuos al momento de la siembra del cultivo de verano.

El período de barbecho químico es entonces otro factor clave a considerar desde el punto de vista del manejo del agua, porque a medida que salimos del invierno y avanzamos en la primavera también aumenta la demanda atmosférica y por lo tanto, el consumo de agua por el cultivo de cobertura. Trabajos en curso en INIA La Estanzuela en coberturas de avena para cultivos de soja muestran que un excesivo período de barbecho químico (60 días) en este tipo de cultivos pueden determinar la desaparición de buena parte de los residuos de avena y dejar el suelo parcialmente desnudo en una época del año donde la erosividad de las lluvias es importante.

En ese sentido, Ernst *et al.* (2001) determinaron una mejor implantación, crecimiento y un mayor contenido de nitratos y agua en el suelo cuando se utilizaban duraciones de barbecho químico aproximadas a 45 días. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Sawchik (2001) para las condiciones climáticas extremas de déficit hídrico de la zafra 1999/2000.

### III. LIMITANTES FÍSICAS PARA EL CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Si bien es necesario reconocer que las limitantes de tipo físico están íntimamente relacionadas con la dinámica del agua del suelo, la consideración de problemas tales como, la compactación, alta impedancia para el desarrollo de las raíces entre otras merecen una consideración especial.

La adopción de sistemas de producción basados en SD puede estar limitada por la ocurrencia de restricciones físicas del suelo asociadas muchas veces a procesos de degradación. La particular combinación de factores que caracteriza a la agricultura en el Uruguay determina la potencial ocurrencia de estos problemas. Estos factores incluyen: suelos de texturas medias a pesadas con baja capacidad de infiltración de agua, clima húmedo y frecuente tráfico de animales y maquinaria (Martino, 2001).

Así, es común que en los SSD emergentes se observen problemas de contacto semilla-suelo, excesos de humedad durante el invierno, una elevada resistencia mecánica al crecimiento de las raíces y

deficiencias de agua para los cultivos de verano. Estas condiciones se manifiestan con máxima intensidad durante la transición de sistemas con laboreo hacia SD, pero en algunos casos con situaciones de origen muy degradadas, no se revierten con facilidad.

Si bien el tema es muy amplio y se están desarrollando en el Uruguay líneas de trabajo para solucionar estos problemas, existen algunos tópicos con mayor desarrollo que otros y haremos referencia principalmente a ellos.

El proceso de reconstrucción de la estructura del suelo bajo SD puede demandar períodos prolongados, especialmente si la condición de origen es extrema (exceso de laboreos con tenores de humedad inadecuados, pérdida de la materia orgánica, pobre actividad biológica). En estos casos, bastante comunes en Uruguay, es necesario encontrar formas de acelerar dichos procesos de largo plazo, a efectos de asegurar la viabilidad de un sistema de SD. Una de estas formas sería el aflojamiento mecánico del suelo, preservando la cobertura de residuos y minimizando los efectos negativos sobre los agentes bioformadores de canales. Otro enfoque para atenuar este problema, sería el uso de especies vegetales con capacidad de desarrollar sistemas radiculares extensivos aun bajo suelos compactados (Martino, 2001).

En general, bajo el modelo mixto de rotaciones de cultivos y pasturas, tradicional hasta fines de la década del 90, las pasturas y en especial las gramíneas perennes cumplían el rol de mejorar las condiciones físicas del suelo y esa mejora estaba asociada a la producción de materia seca durante ese período y fundamentalmente al componente gramíneas de la pastura (García Prechac, 1992). Si bien buena parte de los sistemas productivos continúan dentro de un modelo mixto de producción, gran parte de la agricultura se realiza hoy en sistemas de cultivo continuo bajo SD. Con ello, obviamente, se reduce el menú de especies que puedan revertir procesos de degradación y por lo tanto, es necesario investigar nuevas especies anuales que puedan cumplir ese rol.

Como dijimos anteriormente, uno de los enfoques para revertir parcialmente los procesos de degradación estructural es el "aflojamiento mecánico del suelo". El Paraplow, una herramienta de subsolado desarrollada en Inglaterra, ha sido evaluada con relativo éxito en trabajos desarrollados en Uruguay.

Esta herramienta puede ser usada para aflojar suelos compactados hasta una profundidad de 45 a 50cm, con escasa disturbación de la superficie y por lo tanto, adaptable a SSD. En el Uruguay, trabajando sobre suelos franco limo-arcillosos, Martino (1998) detectó una disminución en la densidad apa-

rente del suelo. Esto se evidenció más claramente en la capa superior del horizonte Bt (25-30cm de profundidad) y este efecto tuvo una residualidad de hasta más de 2 años. Este aumento en la porosidad, también ha sido observado en otros estudios a nivel mundial y se debería básicamente a un aumento en el porcentaje de poros mayores.

El Paraplow, también tuvo efectos positivos en la capacidad de infiltración de los suelos en Uruguay (Martino, 1998). Esto, para las condiciones de Uruguay, es de gran beneficio para los cultivos porque aumenta la precipitación efectiva en los meses de primavera y verano. Dos días después de una lluvia de 90mm, la cantidad de agua disponible en los 45cm superficiales de suelo fue de 31 y 56mm para los tratamientos testigo y subsolado respectivamente (Martino, 2001).

Otro factor que ha sido considerado en estos estudios, es el efecto de esta herramienta sobre la resistencia mecánica del suelo. En estos experimentos se observó una reducción de la resistencia a la penetración de los suelos (Martino, 1998). Este autor detectó además, que la máxima reducción en esta propiedad fue observada entre 20 y 35cm de profundidad lo cual concuerda ampliamente con la bibliografía internacional y tuvo una residualidad importante en el tiempo. Se encontró además, un efecto significativo del Paraplow en la promoción del desarrollo de raíces debido a esta reducción en la resistencia a la penetración. Esto ha sido reportado para trigo, cebada y maíz (Martino, 1998).

Como consecuencia de los efectos positivos de esta herramienta sobre las propiedades físicas del suelo y desarrollo de raíces, es esperable también algún efecto positivo en los rendimientos. Así, en estos trabajos se reportan aumentos en el rendimiento frente al testigo de 36, 29 y 14% para girasol, cebada y trigo respectivamente (Martino, 2001).

Como dijimos previamente, el otro enfoque para evitar los problemas físicos en superficie en SSD es la de explotar la habilidad de ciertas especies de desarrollar sus raíces en suelos con altos niveles de compactación. Estas raíces producirían un sistema de canales en el suelo, aprovechables por los cultivos subsiguientes.

Resultados preliminares obtenidos en INIA la Estanzuela (Martino, datos sin publicar) han demostrado que por ejemplo la alfalfa y la achicoria pudieron desarrollar sistemas de biocanales más profundos que los de festuca, trébol rojo y trébol blanco. Ello resultó en una mayor capacidad de infiltración de agua en el suelo.

En trabajos posteriores realizados en Uruguay, Gentile (2002) encontró patrones de enraizamiento diferentes para alfalfa, achicoria y festuca. Aproximi-

madamente la mitad de la biomasa radicular obtenida en un metro de profundidad se encontraba en los primeros 10, 20 y 30cm para festuca, alfalfa y achicoria respectivamente. A su vez, festuca y achicoria presentaron un mayor número de nudos de raíces en los primeros 20cm de suelo, mientras que en alfalfa esto sucedió entre los 20 y 60cm. Esas diferencias reflejan diferencias en el tipo de raíz y grado de ramificación de cada especie.

A pesar de las diferencias observadas, los tratamientos tuvieron un escaso efecto residual en el crecimiento y desarrollo de un cultivo posterior de sorgo granífero.

Sin duda esta es una línea de trabajo a reforzar, pero dado el nuevo escenario de intensificación agrícola parece lógico explorar especies anuales más adaptadas a una rotación agrícola. En ese sentido, se están llevando a cabo trabajos con colza-canola, no solo como especie mejoradora de las propiedades físicas del suelo sino como una buena opción de cultivo de renta para invierno.

Sin duda las limitantes hídricas y físicas, muy íntimamente relacionadas, mencionadas en este trabajo son relevantes para el suceso y sustentabilidad de las rotaciones agrícolas en el Uruguay. Por lo tanto, es necesario explorar con mayor profundidad las diferentes alternativas aquí planteadas y en algunos casos su residualidad para los cultivos agrícolas de la rotación.

#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, C.; CAYSSIALS, R. y MOLFINO, J.H. 1989. *Estimación del almacenaje de agua en las tierras de Uruguay*. pp.63-75.
- BAETHGEN, W.E. y GIMÉNEZ, A. 2004. *La variabilidad climática, el cambio del clima y el sector agropecuario*. *In*: Clima y respuesta hídrica de pasturas en zonas ganaderas, Serie de Actividades de Difusión N° 364. pp.2-9.
- CLÉRICI, C.; BAETHGEN, W.E.; GARCÍA-PRÉCHAC, F. y HILL, M. 2004. *Estimación del impacto de la soja sobre erosión y C orgánico en suelos agrícolas del Uruguay*. *In*: XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Argentina 22-24 Junio, CD-ROM.
- GARCÍA-PRÉCHAC, F. 1992. *Propiedades físicas y erosión en rotaciones de cultivos y pasturas*. *In*: Revista INIA de Investigaciones Agronómicas N° 1, Tomo 1. pp.127-140.
- GENTILE, R. 2002. *Forages for soil improvement in Uruguayan cropping systems*. Master of Science Thesis University of Manitoba. 96p.
- GIL, R.C. 2004. *Uso y manejo del agua en sistemas sustentables*. *In*: Seminario sobre la Sustentabilidad Agrícola 29 y 30/3, Buenos Aires, Argentina. pp.45-51.
- MARTINO, D.L. 1998. *Alleviation of soil physical constraints in direct-seeding systems in Uruguay*. Ph.D. Thesis. University of Manitoba.
- MARTINO, D.L. 2001. *Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa*. Serie Publicaciones on-line INIA N° 33. pp.225-257.
- MICUCCI, F.G.; COSENTINO, D. y TABOADA, M.A. 2002. *Impacto de las labranzas sobre los flujos de agua y los tamaños de poros en dos suelos de la pampa ondulada*. *In*: Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACs. p.21.
- MOLFINO, J.H. y CALIFRA, A. 2001. *Agua disponible de las tierras del Uruguay*. Segunda Aproximación. División Suelos y Aguas, Dirección de Recursos Naturales Renovables, MGAP. Disponible online en <http://www.mgap.gub.uy/renare>
- SAWCHIK, J. 2001. *Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa*. Serie Publicaciones online INIA N° 33. pp.323-345.



## 4 - INDICADORES INTEGRADOS

### AVANCES EN LA SELECCIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD PARA LAS SERIES DE SUELO REPRESENTATIVAS DE LA REGIÓN PAMPEANA Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

por **Gustavo Moscatelli;**  
**Ramón Sobral**  
*INTA Instituto de Suelos,*  
*Argentina*

#### I. INTRODUCCIÓN

El diagnóstico y monitoreo de las propiedades de los suelos es una herramienta fundamental para la implementación de sistemas productivos sustentables. Los suelos agrícolas de la región pampeana, debido a diversos factores se encuentran sometidos a un proceso de intensificación del uso, que tiene como efecto la pérdida o disminución de las condiciones intrínsecas relacionadas a sus funciones como componente del ecosistema.

A partir de los conceptos de calidad y salud de los suelos del Dr. John Doran, la propuesta metodológica del Soil Quality Institute (USDA) y de las adaptaciones desarrolladas por las Unidades del INTA, desde el año 2003 se encuentra en ejecución el Proyecto Nacional INTA 52-2205, con la participación del Ins-

tituto de Suelos (Castelar), EEA Pergamino, EEA Balcarce, EEA Paraná, EEA Anguil y la Facultad de Agronomía de la Universidad del Centro de Buenos Aires.

Este Proyecto tiene por objetivos principales establecer un conjunto de indicadores edáficos con sus rangos críticos y preparar una guía simple para medición, diagnóstico y seguimiento a campo de los procesos de degradación. Asimismo se propone conformar una base de datos y relacionar la información obtenida a campo y en laboratorio mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), dirigido a asistir a los servicios de asesoramiento y extensión o en la toma de decisiones del productor.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Las tareas realizadas durante 2 años comprenden:

- 1) Caracterización macroclimática de las áreas;
- 2) Selección de Series de suelo Patrón;
- 3) Elección de Sitios de Observación No Intervenidos y Bajo Uso agrícola, en función de historial de uso y manejo representativos;
- 4) Medición a campo y en laboratorio de los parámetros adoptados;
- 5) Procesamiento de datos;
- 6) Construcción de Modelos expertos para seguimiento de los procesos identificados.

### CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Los principales factores determinantes del clima de la Región Pampeana (RP), son la latitud, la falta de un relieve marcado, la proximidad al océano/cuenca del Plata, la baja relación de masa continental/masa oceánica y la circulación general de la atmósfera.

La Región Pampeana es frecuentemente afectada por masas de aire que se desplazan en la dirección SO-NE. Flujos de aire cálido y húmedo de rumbo N y NE son generados por la actividad del sector O del centro anticiclónico semipermanente del océano Atlántico (40° Latitud Sur), mientras que aire frío y seco del cuadrante S-SO se origina por la actividad del centro de alta presión del Pacífico, complementado por la circulación del O.

Durante los meses estivales, el calentamiento del continente permite el desarrollo de un sistema de baja presión sobre el centro y NO de Argentina, el cual intensifica la actividad del anticiclón del Atlántico Sur. La inestabilidad atmosférica resultante es la causa del modelo de tendencia monzónica del régimen de precipitación de la región.

Durante los meses invernales, el área de baja presión continental es reemplazado por centros de alta presión. El desplazamiento de la baja subantártica hacia el norte y el desarrollo de un anticiclón continental, producen un incremento en la frecuencia de pasaje de masas de aire frío desde el S, SO y O, proceso esporádicamente interrumpido por avances de aire cálido del N. De esta forma, durante todo el año las condiciones son apropiadas para la génesis de frentes, predominantemente fríos, situación que origina lluvias frontales, por lo común intensas y de alta erosividad durante la primavera-verano (Hall *et al.*, 1992).

Las áreas caracterizadas por el Proyecto son: Arroyo Dulce (Bs.As.N), Balcarce, Bolívar, Colón, Concepción del Uruguay (E.R.), Hinojo (Bs.As.S), Manfredi, Paraná y Santa Rosa (L.P.).

A continuación, como ejemplo, se presenta la descripción del Area Manfredi.

### Caracterización climática del Área Manfredi

Para la caracterización climática de la Región Pampeana y específicamente del área de Manfredi, se utilizó información diaria de temperatura y precipitación de la serie 1970-1997, correspondiente a 39 estaciones meteorológicas convencionales del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Régimen Térmico:

#### Temperatura del aire

A partir del valor promedio de las temperaturas máxima y mínima diarias, se calcula la temperatura media anual, cuyas isotermas se observan en la **Figura 1.62**. Regionalmente la temperatura media anual se incrementa gradualmente en dirección Sur-Norte.

El sector de Manfredi se encuentra dominado por la isoterma de 17°C (**Figura 1.62**). Por este elemento climático, de acuerdo a la clasificación de FAO (1981), el clima se define como templado cálido. El mes de Julio, como en toda la RP, es el más frío del año, mientras que enero observa el máximo valor de temperatura media mensual.

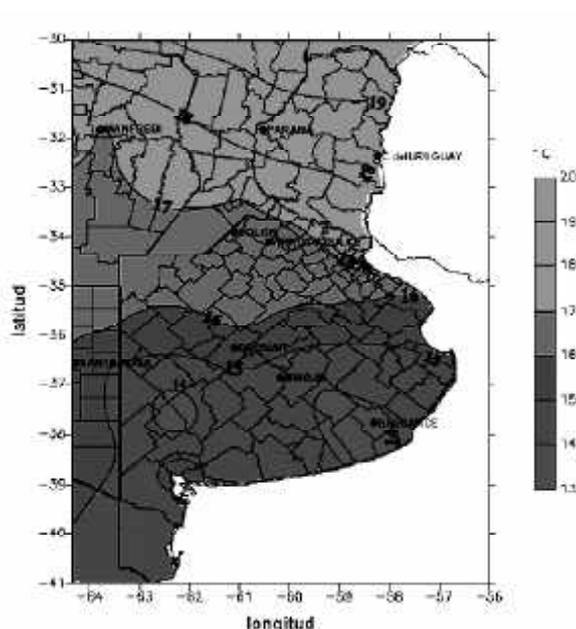


Figura 1.62. Temperatura media anual.

## Heladas

De acuerdo a la **Figura 1.63**, frecuencia media de heladas regional, el número medio de días con heladas varía entre 8 y 40 días. La rigurosidad del régimen de heladas se incrementa hacia las zonas más continentales del oeste y sur, sin la influencia

moderadora del océano Atlántico y de los ríos de la Cuenca del Plata.

El área de Manfredi presenta entre 25 y 35 días promedio con heladas (**Figura 1.63**).

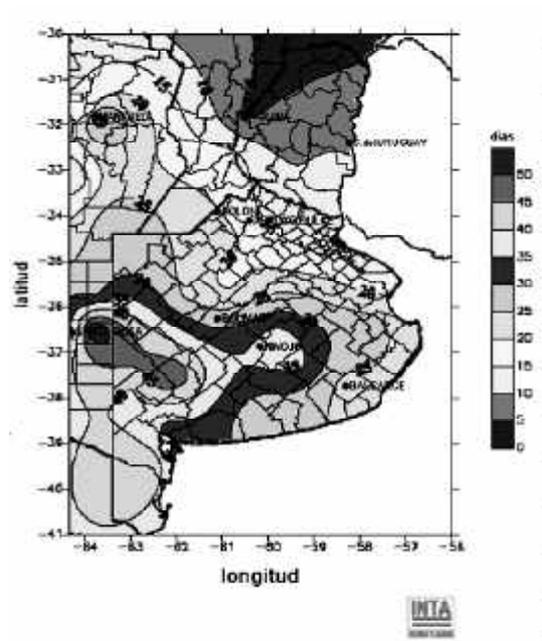


Figura 1.63. Días medios con heladas.

## Régimen Hídrico:

### Precipitación

Las lluvias medias anuales en la RP se encuentran en un rango que va desde los 1350mm en el NE a 500mm en el extremo SO.

El área de Manfredi presenta entre 700 y 800mm de precipitación media anual. En la dirección SE-NO el régimen pluviométrico incrementa su tendencia al régimen monzónico, o sea con concentración de las lluvias en el verano.

### Balance Hídrico

El Balance Hídrico fue establecido por el método de Thornthwaite, implementado para 39 sitios de la RP. Se utilizó la tabla de retención de humedad del suelo para 300mm de almacenaje (Alm) y la serie de temperatura y precipitación 1970-1997.

Los máximos valores de exceso (hasta 350mm) se localizan en el extremo NE de la RP, mientras que las máximas deficiencias anuales oscilan entre 60 a 200mm concentradas en el SO.

El área de Manfredi presenta una deficiencia anual que oscila entre 50 a 100mm, extendida en los meses estivales. En marzo se inicia la recarga hídrica del perfil de suelo acumulando excesos menores a 50mm.

El índice hídrico (valor entre 0-5) calculado con los parámetros que surgen de los balances hídricos permite clasificar al clima de Manfredi como Subhúmedo seco.

## SERIES DE SUELO PATRÓN DE LA REGIÓN PAMPEANA SELECCIONADAS PARA EL PROYECTO

De acuerdo a la información de los mapas de suelos escala 1:50.000 de las distintas áreas y a la información local relacionada al uso y manejo de los suelos disponible en las EEAs INTA, fue seleccionado un conjunto de Series de suelo para efectuar las mediciones de los parámetros edáficos, de acuerdo con la metodología del Proyecto.

### 1. ÁREA PERGAMINO

Serie Pergamino  
Serie Arroyo Dulce  
Serie Rojas  
Serie Ramallo

### 2. ÁREA BALCARCE

Serie Mar del Plata  
Serie Balcarce  
Serie Olavarría  
Serie Bolívar

### 3. ÁREA ENTRE RÍOS

Serie Crespo  
Serie Tezanos  
Serie Urdinarrain (Hapluderte típico)  
Serie María Dolores (Hapluderte típico)  
Serie El Carmen (Argiudol vértico)

### 4. ÁREA CÓRDOBA

Serie Marcos Juárez  
Serie Oncativo  
Serie Monte Alto  
Serie Olaeta  
Serie Gral. Cabrera  
Serie Baldissera

### 5. ÁREA LA PAMPA

Haplustol típico  
Udipsamente típico Pinto

## SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD/SALUD DE LOS SUELOS

De acuerdo a la metodología propuesta por el Dr. John Doran (NRCS; USDA) y las adaptaciones incorporadas como resultado de las reuniones técnicas efectuadas con la participación de los responsables de los Grupos Regionales, las propiedades seleccionadas son:

**pH:** se consideró que la determinación no se realice mediante peachímetros “de campo” dado que en general no suministran mediciones confiables, sino efectuarla en laboratorio sobre muestra seca, en una relación suelo:agua 1:2.5.

**Materia orgánica:** a efectos de incrementar la sensibilidad de esta propiedad para detectar cam-

bios en el estado de salud del suelo, se propuso realizar el fraccionamiento de la materia orgánica.

**Fósforo disponible:** se propuso su medición en forma rutinaria, con el método convencional instalado en los laboratorios de INTA.

**Densidad aparente:** se determina mediante el instrumental disponible por cada grupo de trabajo, con las modificaciones sugeridas al sistema original propuesto por J. Doran. En el caso de Balcarce se emplea el Método Proctor.

**Infiltración:** se trata de un parámetro que presenta aspectos controvertidos en cuanto a su medición e interpretación. Cada grupo realiza mediciones en su zona con el método e instrumental que tenga disponible y todos los resultados se expresan en términos de Conductividad Hidráulica.

**Lombrices:** todos los grupos realizan la medición de esta propiedad de acuerdo al método convencional. Para el área oeste de Entre Ríos, la EEA INTA Paraná realizó un estudio específico de presencia de lombrices en suelos agrícolas.

**Respiración:** se observó que con el dispositivo provisto por la “Caja Doran”, los valores encontrados resultaban muy altos en relación a los antecedentes consultados. Luego de un intercambio de opiniones con los autores de EEUU, se efectuó una corrección al método y así se obtuvieron valores considerados más representativos. En Anguil se está midiendo CO<sub>2</sub> empleando un método distinto (“trampa” de Carbono y posterior titulación) se señaló que los valores obtenidos han presentado una alta variabilidad.

**Estabilidad de agregados:** se efectúan ajustes zonales a los métodos para obtener determinaciones más sensibles. Por ejemplo, al trabajar con el método de De Boodt y De Leenheer, 5 minutos de agitado son suficientes para los suelos de Anguil, mientras que en Balcarce es necesario agitar las muestras durante 30 minutos, ya que con períodos más cortos no se detectan diferencias entre muestras.

**Resistencia a la penetración:** las mediciones deben estar relacionadas al contenido de humedad del perfil. En este sentido se efectúan las determinaciones siempre a Capacidad de Campo, como un modo de estandarizar los valores y permitir comparaciones entre sitios. Alternativamente, es posible elaborar curvas de resistencia a la penetración en función de la humedad del suelo para un rango amplio de contenido de agua edáfica, lo cual permitiría también corregir los valores obtenidos bajo distintas situaciones hídricas. Sin embargo, se observó que la resistencia a la penetración,

estaría más afectada por la tensión del agua en el suelo que por el contenido de humedad. Una calibración de este tipo requeriría conocer la curva característica (relación tensión-contenido de agua) para cada suelo, lo cual hace más compleja la determinación. Asimismo, en los suelos de Anguil, en los cuales la densidad textural representa un 70%, la resistencia a la penetración provee una buena medida del grado de compactación del suelo, mientras que en suelos más estructurados, no refleja tanto el efecto de la compactación sobre el funcionamiento de los cultivos.

## ELECCIÓN DE SITIOS DE OBSERVACIÓN

La medición de cada uno de los parámetros seleccionados se efectuó sobre las Series de Suelo representativas, bajo dos condiciones de uso:

- 1) Suelo poco intervenido (ó mínimo de 30 años sin agricultura) y
- 2) Suelo bajo el uso agrícola mas frecuente en la subregión.

A continuación se presenta una planilla tipo de observación a campo.

### Observación N° 3

-Fecha: 11 de junio del 2003  
-Propietario: C. A. D.  
-Lugar: Los Indios, entre Chacabuco y Rojas.  
-Establecimiento: Los Indios.  
-Ubicación de la observación: Latitud: 60°23'10". Longitud: 34°02'40" Hoja IGM 3560-8-2  
-Suelo: Serie Rojas  
-Cultivo actual: Pastura natural  
-Estadio: Pastura natural. Cobertura: 100%  
-Humedad del suelo: 33,67 %  
-Manejo: Lote tipo reserva, con pastura natural de 20 años.  
-Observaciones: Secuencia de horizontes: Horizonte A1 de 0 a 28cm; B1 de 28 a 37cm; B2 a más de 37cm de profundidad. La Serie tipo presenta valores muy similares: Ap + A12: 0 a 28cm; B1: 28 a 36cm; el B2 comienza a los 36cm. Es evidente que en esta pastura natural no hubo erosión.

-Reacción del suelo: pH= 7,2, en suspensión 1:1. (Los valores de pH de entre 6.0 y 7.5 son óptimos para la mayoría de los cultivos.)

-Respiración microbiana. Lectura: 0.55% de CO<sub>2</sub> a 10°C de temperatura y humedad de 33.67%. Resp.: 61,73lb CO<sub>2</sub>-C/a/día

Estandarización para 15°C:  
((15-T)/10) 0.5  
Resp. 15°C: Resp. x 4: Resp. x 4: 123.46lb CO<sub>2</sub>-C/a/d

Estandarización para 25°C:  
((25-15)/10)  
Resp. 25°C: Resp. 15 x 2: 123.46 x 2: 246.92lb CO<sub>2</sub>/a/d 246.92/1.12: 220.46kg/ha/día

Estandarización para EPOA de 62.71 % (de entre 60 y 80 %):  
Resp. 60: Resp./((80-62.71) x 0,03) + 0.4: 239.63kg/ha/d

Interpretación: actividad del suelo muy alta.  
El suelo tiene un muy elevado nivel de actividad microbiana y tiene elevados niveles de materia orgánica disponible. Sin embargo, la descomposición de materia orgánica estable es perjudicial para diversos procesos físicos y químicos tales como agregación, intercambio catiónico y capacidad de retención de agua.

Presencia de lombrices: muy abundantes.

-Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>): 1.08 (promedio de dos repeticiones)  
Para una textura franca a franco limosa, como la presente, las densidades aparentes ideales son valores menores de 1,30 g/cm<sup>3</sup>.

-Estructura e Índice de estructura:  
0-10cm: granular, fino, fuerte ..... 5 puntos  
10-20cm: granular, medio, moderado ..... 4 puntos  
20-30cm: bloques, finos, moderados ..... 4 puntos

3 x 5 + 2 x 4 + 1 x 4: 27pp

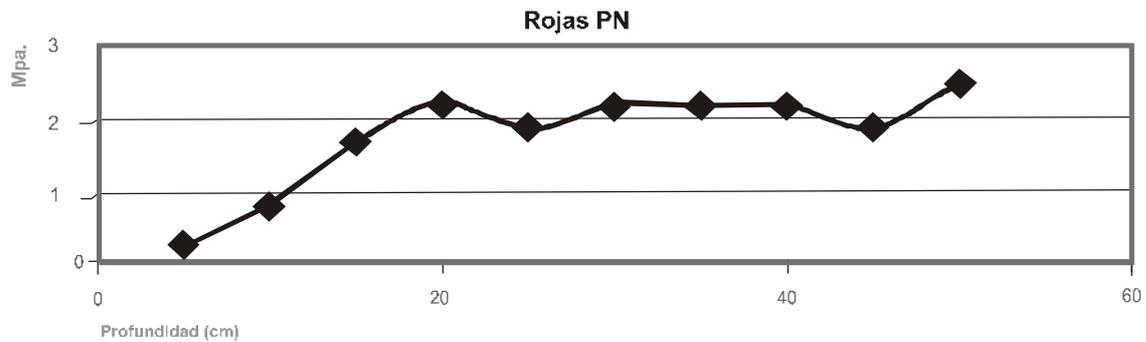
Índice: ((Total-6)/24) x 100: Es un valor que denota muy buena calidad de estructura.

La resistencia a la penetración por lo general se incrementa con la profundidad, por lo que la suce-

sión de valores en el **Cuadro 1.58** no indica necesariamente procesos de compactación (**Figura 1.64**).

**Cuadro 1.58.** Resistencia a la Penetración (RP) en Megapascales (MPa).

Profundidad (cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Nº de golpes	1	3	6	8	7	8	8	8	7	9
Mpa	0.3	0.8	1.7	2.2	1.9	2.2	2.2	2.2	1.9	2.5



**Figura 1.64.** Evolución de la resistencia a la penetración (Mpa) según profundidad (cm).

**Cuadro 1.59.** Valores de la tasa de infiltración para diferentes intervalos de tiempo en ocho repeticiones.

Min	R I mm/h	R II mm/h	R III mm/h	R IV mm/h	R V mm/h	R VI mm/h	R VII mm/h	Prom mm/h	Ds mm/h	CV %
5	348	732	180	300	252	528	336	382	188	49
15	180	252	30	36	18	222	66	114	100	87
20	180	180	36	24	12	204	60	99.4	85	85
27	205	189	17	34	26	163	43	96.7	85	87
37	174	180	24	60	24	210	54	103	81	78
45	187	173	15	15	15	225	52	97.4	93	96
60	192	176	16	60	20	152	60	96.6	75	77

REF: Min: minutos; R I, II, VII: Repeticiones de I a VII; Prom.: promedio en mm/h; Ds: desviación estándar (n-1); CV: Coeficiente de Variación en %

A partir de cierto lapso (aproximadamente 15 minutos, **Figura 1.65**) la infiltración lleva a un valor promedio de alrededor de 10cm/h, el que es clasificado (SQI, op. cit.) como moderado.

#### Comentario:

El suelo de esta pastura natural conserva las buenas características de la Serie original. Presenta elevada respiración microbiana. Cabe tener en cuenta que inmediatamente a continuación de una operación de labranza, la evolución del CO<sub>2</sub> puede acelerarse dramáticamente debido a la exposición de la materia orgánica a organismos y oxígeno.

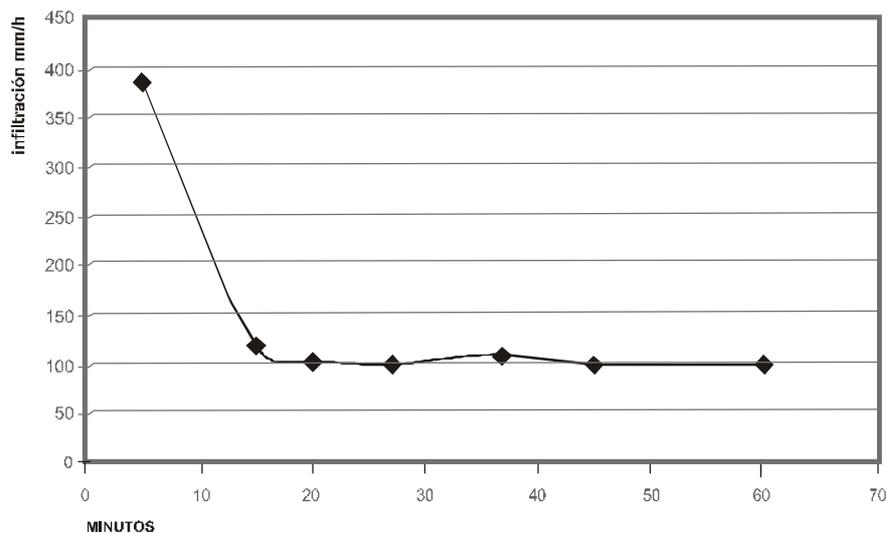


Figura 1.65. Tasa de infiltración promedio serie Rojas, pastura natural.

Hasta el presente, las Series de Suelo con mayor número de repeticiones son:

- 1) En Bs. As.: Pergamino, Ramallo, Arroyo Dulce, Mar del Plata, Rojas;
- 2) En Entre Ríos: Tezanos Pinto, Crespo, Urdinarrain, El Carmen, María Dolores;
- 3) En La Pampa: Udipsamente, Ustipsamente;
- 4) En Córdoba: Oncativo.

A continuación se muestran, a modo de ejemplo, los cuadros con los valores promedio de los parámetros de dos Series medidos en sitios No Interventados y sitios Bajo Cultivo. En la tercera columna se expresa la intensidad del cambio registrado, aunque debe tenerse en cuenta que se trata de una tendencia y que aún no se ha evaluado su significación en términos de severidad de los procesos.

**Cuadro 1.60.** Serie Arroyo Dulce.

Indicador	Promedio Sitios Nº Intervenidos	Promedio Sitios Cultivados	Intensidad y dirección del cambio (%)
Estabilidad de agregados (%)	70	52	-26
Pérdida de horizonte superior (%)	10	38	+280
pH (unidades)	6.5	5.9	-10
Respiración microbiana	167	93.7	-44
(kg C/ha/año) Materia orgánica (%)	3.7	3.1	-16
Infiltración (mm/h)	62	26.5	-57
Máxima resistencia a penetración (Mpa/cm)	6.1	6.1	0
Índice de Estructura (%)	95	61	-36
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.2	1.2	0

**Cuadro 1.61.** Serie Ramallo.

Indicador	Promedio Sitios Nº Intervenidos	Promedio Sitios Cultivados	Intensidad y dirección del cambio (%)
Estabilidad de agregados (%)	70	59	-16
Pérdida de horizonte superior (%)	24	26	+8
pH (unidades)	6.2	5.9	-5
Respiración microbiana	83	61	-27
(kg C/ha/año) Materia orgánica (%)	4	3.1	-22
Infiltración (mm/h)	44	20	-55
Máxima resistencia a penetración (Mpa/cm)	3.7	4.9	+32
Índice de Estructura (%)	80	53	-34
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.03	1.03	0

### III. CONCLUSIONES PRELIMINARES

- Las propiedades seleccionadas y medidas bajo las condiciones de uso establecidas por la metodología, permiten diagnosticar tipos de procesos degradatorios y sus estados de avance.
- Los métodos de medición pueden ser normalizados parcialmente debido a la variación de tipos de suelos entre subregiones y a las diferentes características de equipamiento de los Grupos Regionales.
- Los resultados preliminares analizados en el Instituto de Suelos y el Área Pergamino, a nivel de las Series de suelo seleccionadas, muestran cuatro procesos de degradación desarrollados con distinta intensidad: compactación, pérdida de estructura, erosión (pérdida de horizonte superior) y acidificación.
- En el Área Balcarce se estableció que el impacto de la agricultura continua sobre el estado conservación se manifiesta principalmente mediante el Índice de estabilidad estructural. Las relaciones entre parámetros identifican a la porosidad estructural como estimador de la conductividad hidráulica. En un estudio de caso, la resistencia mecánica no resultó ser un parámetro suficientemente sensible como indicador. Asimismo se obtuvo una relación del 46% entre contenido de MO, Estructura y CIC, además se estableció una interacción significativa entre MO y agua útil.
- En el Área Manfredi se intensificaron los estudios sobre la densidad aparente, determinándose que si bien la compactación, en la medida que puede ser estimada por aumentos de la densidad aparente, alcanza valores considerables (expresados en porcentaje de variación respecto a testigos), los valores medios encontrados no pueden considerarse limitantes para el desarrollo de las plantas. Asimismo los estudios no detectaron una relación directa y manifiesta entre el tipo de suelos a nivel de serie y los cambios de densidad aparente. Por otra parte, las variaciones encontradas tienen además una relación estrecha con la variable historia de manejo de los lotes (incluido el tiempo desde su incorporación a siembra directa).
- En el Área Paraná, se determinó que la situación inalterada presentó mejores condiciones de suelo respecto a los sitios con pradera y agricultura con distintas secuencias de cultivo. Para los Índices de estabilidad estructural la condición inalterada se diferenció marcadamente del resto. La densidad aparente en sitios no alterados presentó los valores más bajos, con promedios de 1.19, 1.08 y 1.11 g/cm<sup>3</sup> en las series Tezanos Pinto, Crespo y María Dolores respectivamente. Los mayores valores se observaron en los sitios agrícolas con 1.41 (T. Pinto), 1.24 (Crespo) y 1.34 g/cm<sup>3</sup> (M. Dolores).
- En el Instituto de Suelos, la información obtenida en las mediciones a campo y laboratorio es incorporada a una base de datos para su procesamiento en los modelos expertos desarrollados con el Sistema Automatizado para Evaluación de Tierras (ALES). La valoración de los procesos de degradación a nivel de las unidades cartográficas de las cartas de suelos, es procesada a través de un SIG para la generación de los mapas temáticos e inventarios. Los resultados iniciales muestran una adecuada correlación entre la escala 1:50.000, correspondiente a los mapas de distribución de las series de suelo patrón y la representación de los estados de calidad de los suelos.



## **CAPÍTULO II**

Memorias

REUNIÓN TÉCNICA INTERNACIONAL  
«RELACIÓN SEMBRADORA - SUELO EN SIEMBRA DIRECTA:  
PROBLEMAS Y SOLUCIONES»

Passo Fundo - Brasil  
Diciembre 2005



## Presentación de la Reunión Técnica

La adopción de modelos de producción de granos estructurados en sistema de siembra directa constituye, sin duda, el mayor avance tecnológico de la agricultura contemporánea, no sólo por ser una herramienta eficiente de conservación del suelo, sino por ser una técnica que contribuye efectivamente a la sustentabilidad de los agroecosistemas frente a la creciente demanda mundial de alimentos.

El sistema de siembra directa se inserta en el contexto de la mecanización agrícola. Considerando los principios de productividad, sustentabilidad y de calidad ambiental, se destaca la necesidad de promover una adecuada relación máquina-suelo en los distintos agroecosistemas.

El paradigma de la agricultura sustentable es incierto, ya que pasa por el análisis de las individualidades de cada agroecosistema. Así, el proceso de sembrar con calidad, en el sistema de siembra directa, requiere alternativas especiales de los elementos rompedores del suelo para la deposición de semillas y de fertilizantes, considerando las particularidades regionales de suelo, clima y modelos de producción.

La búsqueda de soluciones agronómica y económicamente viables para el sector agrícola, a través de la adaptación o el desarrollo de nuevas tecnologías, depende básicamente del intercambio de conocimientos y de la investigación en sociedad.

Se espera que la temática de la reunión, "Relación sembradora/suelo en sistema de siembra directa: problemas y soluciones", propuesta por EMBRAPA Trigo y PROCISUR a través del Proyecto "Consolidación y Valorización de la Sustentabilidad de Sistemas Agrícolas Productivos bajo Siembra Directa", contribuya a la integración y al intercambio de temas y acciones en las áreas de la mecanización agrícola y del manejo del suelo en el ámbito del sistema de siembra directa, ante problemas regionales, relativos a la carencia de los elementos rompedores del suelo, teniendo como objetivos la identificación de demandas de investigación y la formación de sociedades dirigidas a promocionar el desarrollo de la tecnología-solución, al nivel de los países integrantes del Cono Sur.

Aliomar Gabriel da Silva  
*Jefe General Interino*  
Embrapa Trigo  
Passo Fundo, RS, Brasil

Arcenio Sattler  
*Coordinador*  
Investigador Embrapa Trigo  
Passo Fundo, RS, Brasil



# EVALUACIÓN DE UN ACCESORIO ESCARIFICADOR PARA SEMBRADORAS DE GRANO GRUESO

## PARTE I: EFECTO SOBRE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO

*por Mario Omar Tesouro;  
Leonardo Venturelli;  
Adriana Mónica Fuica;  
Gerardo Masiá;  
Jorge Emilio Smith;  
S. A. Figueiro Aureggi  
CNIA. CIA. INTA Castelar, Argentina*

### I. RESUMEN

El proceso de densificación en los suelos con elevado contenido de arcilla se magnifica luego de un período prolongado de agricultura sin labranza. El deterioro ocasionado se manifiesta primeramente, a través del aumento de la densidad aparente (DA) y de la resistencia a la penetración (RP), como así también en la reducción de la permeabilidad del suelo al agua y al aire. Resulta necesario probar la eficacia de métodos de cultivo alternativos como la labranza en franjas, o medidas correctivas como el subsolado, que permitan mantener una condición física del suelo más favorable. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto sobre el suelo y el rendimiento del cultivo de soja de un accesorio escarificador para sembradoras de grano grueso sobre un Argiudol vértico con diferentes grados de compactación. En esta primer parte se evalúan los cambios en la DA. La experiencia se realizó en un

ensayo de compactación que se lleva a cabo en el Instituto de Ingeniería Rural (INTA Castelar). Fueron contrastados los cambios en la DA de los surcos escarificados versus los entresurcos sin escarificar. El escarificador ejerció un efecto diferencial sobre la DA, en función del grado de compactación del suelo y de la profundidad considerada. La persistencia de su acción se extendió durante todo el ciclo del cultivo.

**Palabras claves:** labranza en franjas; compactación; densidad aparente.

## II. SUMMARY

On soils with high clay content continuous use of no-tillage cropping causes an increase in soil dry bulk density, soil penetrometer resistance, with decreased water infiltration and air exchange rate. It becomes necessary to test alternative soil treatments as strip tillage, subsoilers and planter attachments in order to maintain an adequate soil physical condition. In order to study the effect of using local soil loosening over soybean crops a specific chisel ripper planter attachment was tested in an argiudol vertic soil with different degree of compaction. In this first paper the effect over dry bulk density is studied. The experience was carried over on a compaction experimental plot of the Rural Engineering Institute (INTA Castelar). The results of the experiment showed a localized and variable decrease of soil dry bulk according to depth and initial soil compaction. The perdurable effect was detected over all the soybean cycle.

## III. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

En los últimos años se han producido en nuestro país cambios sustanciales en el manejo de los sistemas de producción agrícola. Quizás, el más emblemático haya sido el retroceso de las formas tradicionales de preparación del suelo, frente al avance de la siembra directa (SD). Esta forma de cultivo permitió superar algunos de los efectos indeseables de la labranza convencional (LC). Pero, simultáneamente generó nuevas interrogantes y magnificó la ocurrencia de otros procesos perjudiciales sobre el ambiente, como el de la compactación edáfica, que deben ser minimizados para mantener la integridad de los agroecosistemas. La técnica de no labranza presenta su principal desafío en suelos pobremente drenados, en los cuales sus propiedades físicas superficiales son afectadas debido a la ausencia de la labranza como medida correctiva (Licht *et al.*, 2005). En muchos casos, el aumento del escurrimiento superficial del agua observado en suelos con esta forma de cultivo, ha sido atribuido al incremento de la compactación y de la DA (Lindstrom, Onstad, 1984; Potter, Chichester, 1993; Cassel *et al.*, 1995; Hussain *et al.*, 1998).

El deterioro del estado físico del suelo puede ser mitigado mediante sistemas de labranza conservacionistas como la labranza en franjas (Raper *et al.*, 1994; Schwab *et al.*, 2002) o por medio del subsolado (Al Adawi; Reeder, 1996). La labranza en franjas posee el potencial para mejorar las condiciones para el desarrollo de los cultivos, manteniendo las ventajas de la SD pues los entresurcos permanecen sin disturbar y cubiertos de residuos (Vyn; Raimbault, 1993).

Existe la necesidad de mantener una sistemática y continua investigación que brinde una evaluación

precisa de las consecuencias ambientales y económicas del empleo de diversos sistemas de labranza y no labranza, a fin de contar con la información necesaria para decidir el mejor sistema de manejo para cada tipo de suelo (Bosch *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto sobre el suelo y el rendimiento del cultivo de soja de un accesorio escarificador para sembradoras de grano grueso, sobre un Argiudol vértico con diferentes grados de compactación. En esta primera parte se evalúan los cambios en la DA del suelo.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo se realizó en el campo experimental del Instituto de Ingeniería Rural (INTA Cautelar, Pcia de Buenos Aires) sobre un suelo que pertenece al gran grupo de los Argiudoles vérticos. El contenido de arcilla del horizonte Ap es del 28.5% y el de materia orgánica del 4.6%. La clase textural es franco arcillo limoso, siendo la humedad equivalente del 24.9%. El relieve del área es normal. En Junio de 2000 se efectuaron en el área experimental tres tratamientos de compactación, consistentes en 8, 6 y 4 pasadas con un tractor de diez toneladas de peso, permaneciendo como testigo un sitio sin transitar, con lo cual quedaron definidas las parcelas 8, 6, 4 y 0 respectivamente. Cada tratamiento fue repetido tres veces, en un diseño en bloques completos aleatorizados. Los bloques poseen una extensión de 20m y un ancho de 10.5m y están dispuestos en forma perpendicular a una toposecuencia que determina que el horizonte textural se encuentre a distinta profundidad. El bloque I, de perfil más somero, se ubica en la loma, el II en la media loma y el III, el más profundo, en el bajo. Las dimensiones de cada una de las 12 parcelas es de 10.5m de largo por 5m de ancho. Luego de la preparación de las parcelas se inició una rotación de trigo y soja implantados mediante SD.

Tres años después de haber sido realizados los tratamientos, cada una de las parcelas fue dividida en dos subparcelas. En una de ellas, para implantar soja, se utilizó una sembradora Agrometal TX de 5 surcos separados a 0.7m con su tren de distribución estándar compuesto por cuchillas circulares lisas, surcadores de doble disco con ruedas limitadoras de profundidad y ruedas dobles gemelas cubridoras y compactadoras. En la otra subparcela, la cuchilla circular fue reemplazada por un accesorio escarificador fabricado por la firma BAUMER S.R.L., el cual trabajó a una profundidad de 0,20m. En ambos casos, la máquina sembradora fue traccionada mediante un tractor Ford 4600 con una trocha de 1.4m.

La siembra se realizó entre el 8 y 9 de diciembre de 2003, empleando semilla certificada Nidera 4404 SG con una densidad efectiva de siembra de 28 semillas por metro lineal de surco.

Luego de efectuada la cosecha a fines de mayo de 2004 y a fin de cuantificar la magnitud y la persistencia del efecto del escarificado fueron relevados, en los bloques II y III, el contenido de humedad y la DA del suelo en los surcos y en los entresurcos y los perfiles de resistencia del suelo.

La DA se determinó tomando tres muestras de suelo en los surcos (escarificados) y en los entresurcos (sin escarificar), empleando cilindros de 50mm de longitud por 50mm de diámetro, los cuales fueron colocados a cuatro profundidades sucesivas a fin de evaluar el horizonte superficial entre 0.0 y 0.2m, totalizando entonces 24 muestras por parcela. Debido a las características texturales y mineralógicas del suelo donde se realizó el ensayo, este parámetro resulta sustancialmente afectado por el contenido de humedad del suelo al momento de extraer las muestras. Para superar este inconveniente, la DA se calculó considerando la contracción que experimentan las muestras de suelo luego de ser mantenidas a 105°C hasta constancia de peso.

La evaluación estadística de los parámetros bajo estudio se efectuó mediante análisis de varianza para un diseño en bloques completos aleatorizados (DBCA). Los efectos principales considerados en dicho análisis fueron, los bloques, el escarificado (tratamiento), las parcelas y las profundidades. Se incluyeron en el modelo las interacciones entre el tratamiento y el resto de los efectos y también la interacción triple parcela x profundidad x tratamiento. La significación estadística del tratamiento en los bloques, parcelas y profundidades fue determinada mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey y contrastes ortogonales.

#### DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO EVALUADO

El accesorio posee como órganos activos, una cuchilla ondulada, un escarificador de arco rígido y dos ruedas compactadoras, vinculados entre sí mediante una pletina de 810mm de longitud, 75mm de ancho y 19mm de espesor, con dos resortes de compensación.

La cuchilla ondulada responde al diseño turbo, con un diámetro de 457mm (18") y 19 ondas con 76mm de período y amplitud de 10mm, ambas dimensiones medidas en su periferia. La modificación de la profundidad de trabajo de este órgano, se logra por medio de una articulación regulable que posee su soporte.

El escarificador consta de un arco rígido y una reja en su extremo inferior, constituyendo ambas par-

tes una sola pieza. El arco rígido tiene una longitud de 415mm, un espesor máximo de 19mm en su cara posterior y un desarrollo de 66mm en el sentido de la dirección de avance. La cara anterior del arco presenta un filo romo merced a la existencia de un doble chaflán. El ángulo de ataque es de 60° respecto de la horizontal. El arco posee en su parte superior una regulación de altura con lo cual puede desplazarse en sentido vertical un máximo de 45mm. En una vista en planta, la reja posee forma de triángulo isósceles de 47mm de base y 76mm en sus lados mayores. El espesor es de 5 milímetros y el ángulo de incidencia es de 4° respecto de la horizontal.

Las ruedas compactadoras son rígidas, de 300mm de diámetro y sección tronco cónica. La banda de rodadura tiene un ancho de 40mm. Poseen un ángulo de 13° con la vertical y un cruce de 1° con la dirección de avance. El brazo que vincula la rueda con la pletina presenta dos articulaciones regulables, lo cual posibilita desplazarlas verticalmente y en sentido anteroposterior.

## V. RESULTADOS

Se detectaron diferencias altamente significativas en la DA del suelo por efecto de los bloques ( $F=22.42$ ;  $Pr>F<0.0001$ ), del escarificado ( $F=68.14$ ;  $Pr>F<0.0001$ ), de las parcelas ( $F=20.74$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) y de la profundidad a la cual fue obtenida la muestra ( $F=76.48$ ;  $Pr>F<0.0001$ ). Las interacciones dobles entre el escarificado y las demás variables involucradas en este estudio no alcanzaron en ningún caso significación estadística, pero fue significativa la interacción triple analizada.

La DA promedio del bloque II fue levemente superior, aunque estadísticamente significativa, a la del III (1.539 y 1.498g/cm<sup>3</sup> respectivamente) (**Cuadro 2.1**). La reducción de la DA a causa del escarificado resultó prácticamente idéntica en ambos bloques, lo cual es consistente con la falta de significación (0.8193) de la interacción bloque x tratamiento señalada anteriormente. El contraste ortogonal realizado para probar la hipótesis de igualdad en la DA del suelo sin escarificar y escarificado, arrojó un valor de "F" de 23.08 y una probabilidad que dicha hipótesis sea cierta inferior a 0.01% ( $Pr>F<0.0001$ ).

**Cuadro 2.1.** Densidad aparente de los bloques II y III escarificados y sin escarificar. Contraste ortogonal:  $H_0$ : DA bloques II y III escarificados = DA Bloques II y III sin escarificar. Cuadrado Medio: 0.2197; F= 23.08; Pr>F=0.0001.

Bloque	Escarificado	Parcela	Prof. (cm)	Cantidad muestras	DA prom. (g/cm <sup>3</sup> )	Intervalo de confianza de la media (95%)	
II	No	0; 4; 6; 8	0 a 20	48	1.539	1.522	1.556
II	Si	0; 4; 6; 8	0 a 20	48	1.469	1.452	1.486
III	No	0; 4; 6; 8	0 a 20	48	1.498	1.481	1.515
III	Si	0; 4; 6; 8	0 a 20	48	1.432	1.415	1.449

REF: Prof.: Profundidad; DA prom.: Densidad aparente promedio.

El efecto del escarificado en las distintas parcelas puede observarse en el **Cuadro 2.2** y su representación gráfica en la **Figura 2.1**. Pese a la falta de significación estadística en la interacción escarificado x parcela (0.0850), se manifestó una respuesta diferencial del tratamiento. Los contrastes ortogonales efectuados para comparar la DA de los surcos y los entresurcos dentro de cada parcela resultaron no significativos para los testigos (F=1.77; Pr>F= 0.1846), significativos en las parcelas con menor grado de compactación (F= 4.92; Pr>F= 0.0278) y altamente significativos en las más compactadas (F= 9.29; Pr>F= 0.0026) y (F= 11.12; Pr>F= 0.0010) en los casos de las parcelas 6 y 8 respectivamente.

Simultáneamente se probó la igualdad de la DA de los testigos sin escarificar vs. la DA de las parcelas compactadas en los sitios sin escarificar y escarificados. La primer comparación indica que tal igualdad no existe, ya que el contraste arrojó un valor de “F” de 13.85 lo cual significa una probabilidad menor al 0.01%. La segunda, en cambio, presenta un alto grado de confiabilidad pues los resultados obtenidos fueron de 0.04 para el valor de “F”, con una probabilidad del 83.3%.

**Cuadro 2.2.** Densidad aparente por parcela en los surcos escarificados (Si) y en los entresurcos sin escarificar (No).

Bloque	Escarificado	Parcela	Prof. (cm)	Cantidad muestras	DA prom. (g/cm <sup>3</sup> )	Intervalo de confianza de la media (95%)	
II y III	No	0 (testigo)	0 a 20	24	1.456	1.433	1.480
II y III	Si		0 a 20	24	1.420	1.396	1.444
II y III	No	4	0 a 20	24	1.505	1.482	1.529
II y III	Si		0 a 20	24	1.445	1.421	1.469
II y III	No	6	0 a 20	24	1.568	1.544	1.591
II y III	Si		0 a 20	24	1.485	1.461	1.508
II y III	No	8	0 a 20	24	1.544	1.521	1.568
II y III	Si		0 a 20	24	1.453	1.430	1.477

REF: Prof.: Profundidad; DA prom.: Densidad aparente promedio.

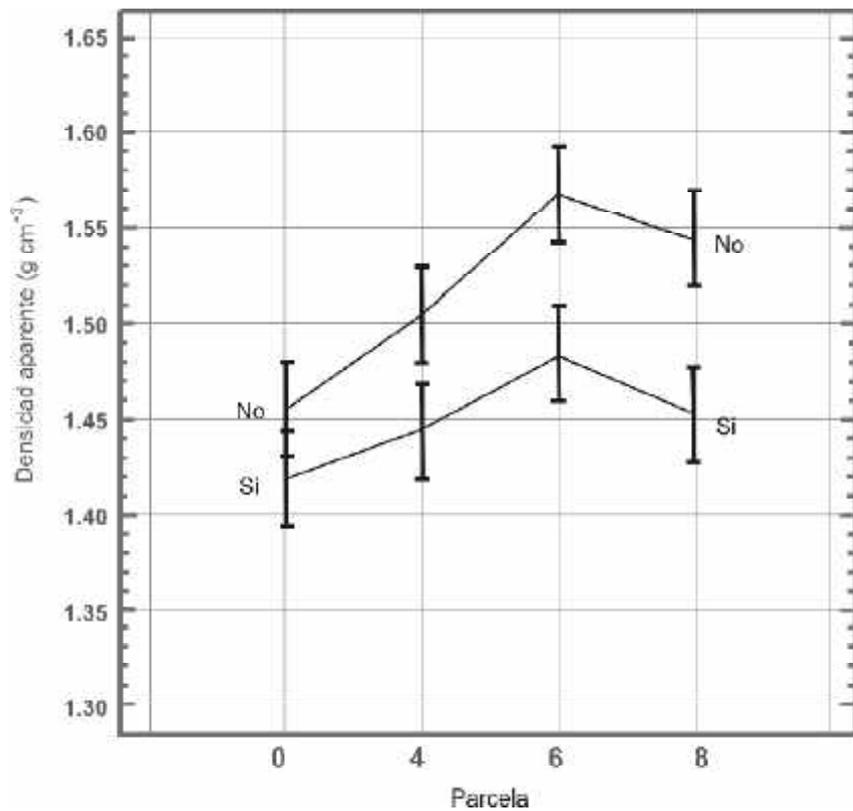


Figura 2.1. Densidad aparente de las parcelas en los sitios escarificados (Si) y sin escarificar (No). Intervalos de confianza de la media al 95%.

El efecto del escarificado a distintas profundidades puede observarse en la Cuadro 2.3 y su representación gráfica en la Figura 2.2. El nivel de significación de la interacción entre estas dos variables alcanzó a 0.0819. Si bien las diferencias a

causa del tratamiento resultaron significativas en todos los niveles, es fácilmente perceptible que el mayor efecto se manifestó en las profundidades intermedias. Esta apreciación se confirma con lo expresado en la Cuadro 2.4.

Cuadro 2.3. Densidad aparente del suelo a distintas profundidades en los surcos escarificados (Si) y en los entresurcos sin escarificar (No).

Bloque	Escarificado	Parcela	Prof. (cm)	Cantidad muestras	DA prom. (g/cm³)	Intervalo de confianza de la media (95%)	
II y III	No	0; 4; 6; 8	2.5	24	1.399	1.375	1.423
II y III	Si	0; 4; 6; 8		24	1.352	1.329	1.376
II y III	No	0; 4; 6; 8	7.5	24	1.539	1.516	1.563
II y III	Si	0; 4; 6; 8		24	1.438	1.414	1.462
II y III	No	0; 4; 6; 8	12.5	24	1.553	1.530	1.577
II y III	Si	0; 4; 6; 8		24	1.483	1.459	1.506
II y III	No	0; 4; 6; 8	17.5	24	1.581	1.558	1.605
II y III	Si	0; 4; 6; 8		24	1.530	1.506	1.554

REF: Prof.: Profundidad; DA prom.: Densidad aparente promedio.

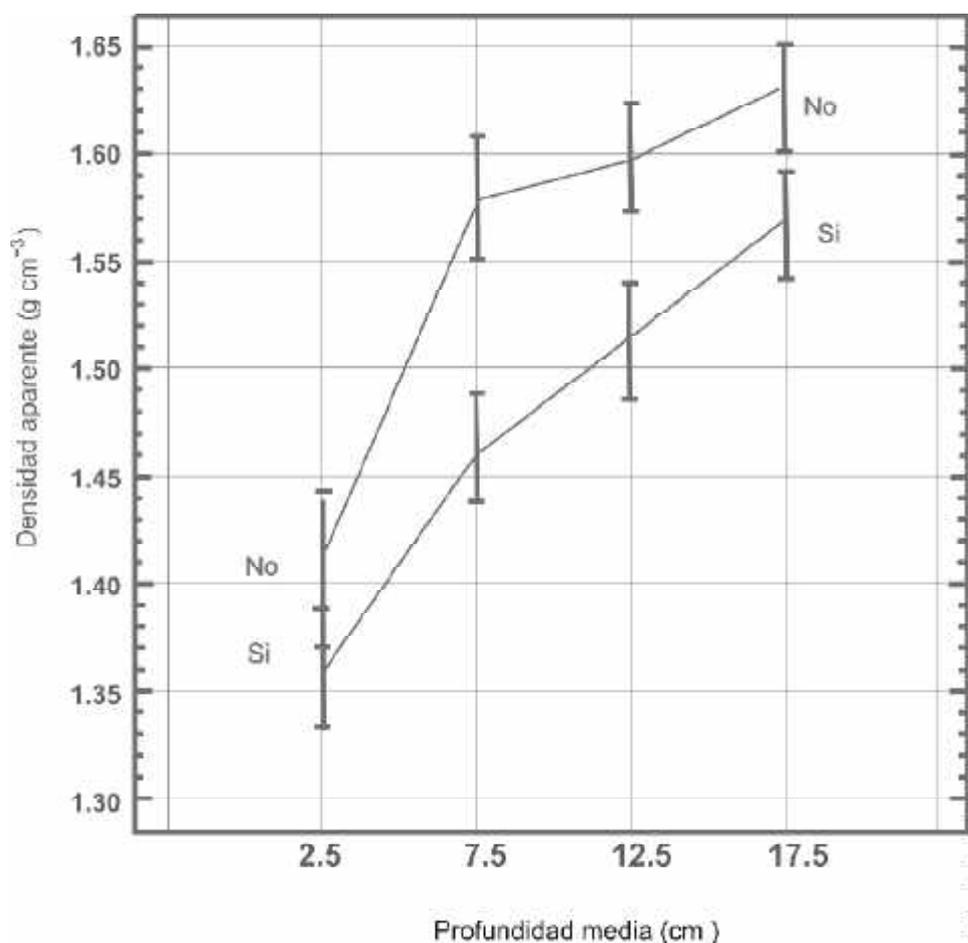


Figura 2.2 Densidad aparente en función de la profundidad del suelo. Referencias: Sitios escarificados (Si) y sin escarificar (No). Profundidad: 2.5cm (0-5cm); 7.5cm (5- 10cm); 12.5cm (10-15cm) y 17.5cm (15-20cm). Intervalos de confianza de la media al 95%.

Cuadro 2.4. Contrastes ortogonales realizados sobre los resultados presentados en el Cuadro 2.3.

Contraste	Cuadrado medio	Valor de "F"	Pr>F
DA 0-5cm escarificado vs DA 0-5cm sin escarificar	0.02615	4.94	0.0274
DA 5-10cm escarificado vs DA 5-10cm sin escarificar	0.12336	23.31	0.0001
DA 10-15cm escarificado vs DA 10-15cm sin escarificar	0.05990	11.32	0.0009
DA 15-20cm escarificado vs DA 15-20cm sin escarificar	0.03234	6.11	0.0143

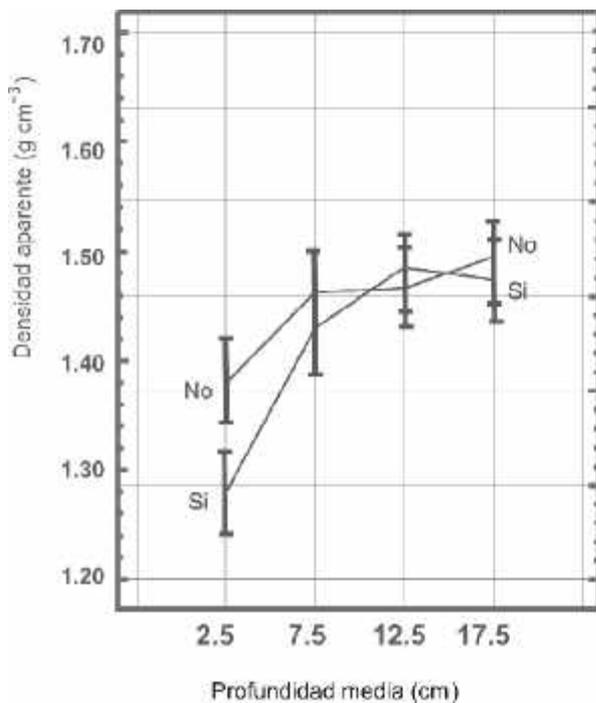
En la última parte de este análisis se presentan los resultados obtenidos en los testigos y en las parcelas compactadas a distintas profundidades. La interacción tratamiento x parcela x profundidad alcanzó en este caso significación estadística ( $F=2.92$ ;

$Pr>F=0.0002$ ). Las comparaciones de la DA en el Cuadro 2.5 se efectuaron de a pares, para igual parcela y profundidad. En las Figuras 2.3 y 2.4 se representan gráficamente los casos de los testigos y las parcelas más compactadas (8).

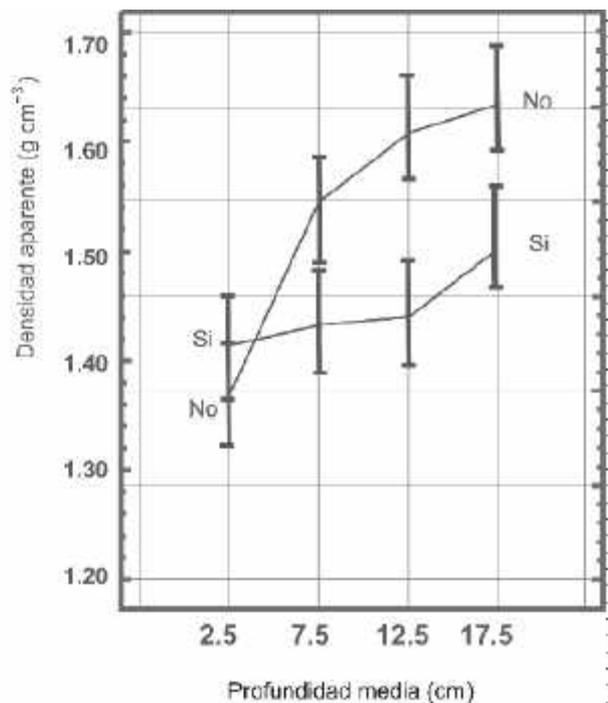
**Cuadro 2.5.** Densidad aparente del suelo en distintas parcelas a diferentes profundidades en los surcos escarificados (Si) y en los entresurcos sin escarificar (No). Letras iguales implica ausencia de diferencia estadística dentro de cada parcela y profundidad (Tukey HSD.  $\bar{U}=0.05$ ).

Bloque	Escarificado	Prof. media (cm)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )			
			Parcela			
			0 (testigo)	4	6	8
II y III	No	0 a 5	1.386 a	1.403a	1.437a	1.370a
II y III	Si		1.282b	1.331a	1.381a	1.415a
II y III	No	5 a 10	1.469a	1.500a	1.646a	1.524a
II y III	Si		1.431a	1.400b	1.484b	1.437b
II y III	No	10 a 15	1.473a	1.546a	1.576a	1.618a
II y III	Si		1.487a	1.478a	1.520a	1.445b
II y III	No	15 a 20	1.496a	1.572a	1.612a	1.647a
II y III	Si		1.479a	1.569a	1.553a	1.517b

REF: Prof.: Profundidad.



**Figura 2.3.** Densidad aparente de los testigos. Sitios escarificados (Si) y sin escarificar (No) en función de la profundidad del suelo.



**Figura 2.4.** Densidad aparente de las parcelas 8. Sitios escarificados (Si) y sin escarificar (No) en función de la profundidad del suelo.

## VI. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican la presencia de un importante efecto aditivo del escarificador sobre la DA a nivel de bloque y parcela, en las distintas profundidades evaluadas. La DA se redujo en todas las parcelas a causa del tratamiento. El efecto resultó mínimo en los testigos, donde no alcanzó significación estadística y máximo en las parcelas que poseen el mayor grado de compactación.

Al comparar las densidades aparentes del testigo y de las parcelas 4, 6 y 8, en todos los casos sin escarificar, las diferencias resultan altamente significativas, lo cual indica que el efecto del tratamiento de compactación realizado en el año 2000 es actualmente perceptible, pese al tiempo transcurrido y a que por sus características texturales, el suelo don-

de se realiza este ensayo puede considerarse como altamente resiliente. En cambio, si la comparación de los testigos sin escarificar se realiza con las parcelas compactadas y escarificadas, prácticamente no existen diferencias en la DA. Si bien este resultado no significa necesariamente una reversión del efecto de la compactación, sí es evidente que se ha alcanzado una mejora en la condición física del suelo.

En lo que respecta a la profundidad, en principio, la acción del escarificado se manifiesta en todo el perfil del suelo trabajado. Sin embargo, al considerar las distintas parcelas, la respuesta también varía en función del grado de compactación. En los testigos, las diferencias significativas sólo se detectaron en los primeros cinco centímetros de suelo. En las parcelas más compactadas, en cambio, existieron diferencias significativas entre los cinco y veinte centímetros de profundidad, que es donde se encuentra más densificado el perfil del suelo. Ambas apreciaciones son consistentes con los resultados presentados en la **Figura 2.1**.

Debido a que el muestreo fue realizado luego de la cosecha es importante destacar que, las modificaciones en la DA, trascendieron el ciclo del cultivo.

## VII. CONCLUSIONES

- El escarificador presentó un efecto diferencial sobre la DA, en función del grado de compactación del suelo y la profundidad considerada.
- Los surcos escarificados de las parcelas compactadas alcanzaron densidades aparentes equivalentes a la de los testigos.
- La persistencia del efecto del escarificado se extendió durante todo el ciclo del cultivo.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL ADAWI, S.S. and REEDER, R.C. 1996. *Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties*. Transaction of the ASAE 1996.v.39. (5): 1641-1649.
- BOSCH, D.D.; POTTER, L.P.; TRUMAN, C.C.; BEDNARZ, C. and STRICKLAND, T. 2004. *Surface runoff and lateral subsurface flow as a response to conservation tillage and soilwater conditions*. Paper N° 042134. ASAE Annual International Meeting. Ontario. August 2004.
- CASSEL, D.K.; RACZKOWSKI, C.W. and DENTON, H.P. 1995. *Tillage effects on corn production and soil physical conditions*. Soil Sci.Soc. Am.J. 59 (5): 1436-1443.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R. and SIEMENS, J. 1998. *Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil*. Soil Science. 163 (12): 970-981.
- LICHT, M.A. and AL KAISI, M. 2005. *Strip tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties*. Soil & Tillage Research 80 (2005). pp.233-249.
- LINDSTROM, M.J. and ONSTAD, C.A. 1984. *Influence of tillage systems on soil physical parameters and infiltration after planting*. J. Soil & Water Conservation. 39: 149-152.
- POTTER, K.N. and CHICHESTER, F.W. 1993. *Physical and chemical properties of a vertisol with continuous controlled-traffic no till management*. Transaction of the ASAE 36(1): 95-98.
- RAPER, R.L.; REEVES, D.W.; BURT, E.C. and TORBERT, H.A. 1993. *Conservation tillage and traffic effects on soil condition*. Transaction of the ASAE 37 (3): 763-768.
- SCWAB, E.B.; REEVES, D.W.; BURMESTER, C.H. and RAPER, R.L. 2002. *Conservation tillage systems for cotton in Tennessee Valley*. Soil Sci. Soc. Am. J. 66 (3): 569-577.
- VYN, J.T. and RAINBAULT, B.A. 1993. *One degree increments in soil temperature affect maize seedling behaviour*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33. pp.729-736.

# EVALUACIÓN DE UN ACCESORIO ESCARIFICADOR PARA SEMBRADORAS DE GRANO GRUESO

## PARTE II: EFECTO SOBRE LA HUMEDAD Y LA POROSIDAD DEL SUELO

*por Mario Omar Tesouro;  
Gerardo Masiá;  
Adriana Mónica Fuica;  
Leonardo Venturelli;  
Jorge Emilio Smith;  
S. A. Figueiro Aureggi  
CNIA. CIA. INTA Castelar, Argentina*

### I. RESUMEN

El proceso de densificación en los suelos con elevado contenido de arcilla se magnifica luego de un período prolongado de agricultura sin labranza. El deterioro ocasionado se manifiesta primeramente, a través del aumento de la densidad aparente (DA) y de la resistencia a la penetración (RP), como así también en la reducción de la permeabilidad al agua y al aire. Resulta necesario probar la eficacia de métodos de cultivo alternativos como la labranza en franjas, o medidas correctivas como el subsolado, que permitan mantener una condición física del suelo más favorable. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto sobre el suelo y el rendimiento del cultivo de soja de un accesorio escarificador para sembradoras de grano grueso sobre un Argiudol vértico con diferentes grados de compactación. En esta segunda parte se evalúan los cambios provocados en la humedad y en la porosidad del suelo. La experien-

cia se realizó en un ensayo de compactación que se lleva a cabo en el Instituto de Ingeniería Rural (INTA Castelar). La acción del escarificado incrementó la porosidad del suelo. El efecto tuvo mayor intensidad en las parcelas compactadas que en los testigos. La modificación de la porosidad aumentó la capacidad de retención hídrica y de aireación del suelo. La persistencia del efecto del escarificado se extendió durante todo el ciclo del cultivo.

**Palabras claves:** labranza en franjas; humedad del suelo; porosidad.

## II. SUMMARY

On soils with high clay content continuous use of no-tillage cropping causes an increase in soil dry bulk density, soil penetrometer resistance, with decreased water infiltration and air exchange rate. It becomes necessary to test alternative soil treatments as strip tillage, subsoilers and planter attachments in order to maintain an adequate soil physical condition. In order to study the effect of using local soil loosening over soybean crops a specific chisel ripper planter attachment was tested in an argiudol vertic soil with different degree of compaction. In this part changes in soil moisture and soil porosity is analyzed. The experience was carried over on a compaction experimental plot of the Rural Engineering Institute (INTA Castelar). The planter chisel ripper attachment increased the soil porosity. The effect was bigger in the compacted plots. The variation in the porosity increased the water retention capacity and the soil aeration. The persistence of the effect was detected over all the soybean cycle.

## III. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

En los últimos años se han producido en nuestro país cambios sustanciales en el manejo de los sistemas de producción agrícola. Quizás, el más emblemático haya sido el retroceso de las formas tradicionales de preparación del suelo frente al avance de la siembra directa (SD). Esta forma de cultivo permitió superar algunos de los efectos indeseables de la labranza convencional (LC). Pero, simultáneamente generó nuevos interrogantes y magnificó la ocurrencia de otros procesos perjudiciales sobre el ambiente, como el de la compactación edáfica, que deben ser minimizados para mantener la integridad de los agroecosistemas. La técnica de no labranza presenta su principal desafío en suelos pobremente drenados, en los cuales sus propiedades físicas superficiales son afectadas debido a la ausencia de la labranza como medida correctiva (Licht *et al.*, 2005). En muchos casos, el aumento del escurrimiento superficial del agua observado en suelos con esta forma de cultivo, ha sido atribuido al incremento de la compactación y de la DA (Lindstrom; Onstad, 1984; Potter; Chichester, 1993; Cassel *et al.*, 1995; Hussain *et al.*, 1998).

El deterioro del estado físico del suelo puede ser mitigado mediante sistemas de labranza conservacionista como la labranza en franjas (Raper *et al.*, 1994; Schwab *et al.*, 2002) o por medio del subsolado (Al Adawi; Reeder, 1996). La labranza en franjas posee el potencial para mejorar las condiciones para el desarrollo de los cultivos, manteniendo las ventajas de la SD pues los entresurcos permanecen sin disturbar y cubiertos de residuos (Vyn; Raimbault, 1993). Existe la nece-

sidad de mantener una sistemática y continua investigación que brinde una evaluación precisa de las consecuencias ambientales y económicas del empleo de diversos sistemas de labranza y no labranza, a fin de contar con la información necesaria para decidir el mejor sistema de manejo para cada tipo de suelo (Bosch *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto sobre el suelo y el rendimiento del cultivo de soja de un accesorio escarificador para sembradoras de grano grueso sobre un Argiudol vértico con diferentes grados de compactación. En esta segunda parte se evalúan los cambios en la humedad y en la porosidad del suelo.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de ensayo y el dispositivo evaluado se encuentran descritos en la primer parte de este trabajo.

Luego de efectuada la cosecha a fines de mayo de 2004 y a fin de cuantificar la magnitud y la persistencia del efecto del escarificado fueron relevados, en los bloques II y III, el contenido de humedad y la DA del suelo en los surcos y en los entresurcos y los perfiles de resistencia del suelo.

Para determinar la humedad (H) de suelo se realizaron tres perforaciones mediante un barreno hasta una profundidad de 0.2m, en los surcos (escarificados) y en los entresurcos (sin escarificar). Las fracciones de suelo obtenidas se dividieron a intervalos de 0.05m para poder evaluar la variación de la H en función de la profundidad dentro de la capa arable. Se obtuvieron entonces 24 muestras de suelo por parcela.

Se efectuaron curvas de retención hídrica con muestras de suelo inalteradas extraídas de la parcela 8 y del testigo en el bloque II, mediante un equipo extractor de presión membrana y tomando como referencia la metodología indicada en el Agriculture Handbook N° 60 (USDA). La gráfica resultante indica el contenido de humedad gravimétrica en función del logaritmo de la succión con que es retenida el agua en el suelo (potencial mátrico) expresada en centímetros de columna de agua (pF). En base a los resultados obtenidos de dichas curvas y de las densidades aparentes (Parte I) fue determinado, en cada caso, el porcentaje de poros con aire a capacidad de campo, el contenido de H cuando el 10% de los poros se encuentran con aire y el agua útil expresada como porcentaje sobre suelo seco (gravimétrica) y en milímetros de lámina de agua cada cien milímetros de perfil de suelo.

La evaluación estadística de los parámetros bajo estudio se efectuó mediante análisis de varianza para

un diseño en bloques completos aleatorizados (DBCA). Los efectos principales considerados en dicho análisis fueron, los bloques, el escarificado (tratamiento), las parcelas y las profundidades. Se incluyeron en el modelo las interacciones dobles entre el tratamiento y el resto de los efectos. La significación estadística del tratamiento en los bloques, parcelas y profundidades fue determinada mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha=0,05$ ) y contrastes ortogonales. Para establecer el grado y el tipo de relación entre la DA (Parte I) y la humedad del suelo se realizó un análisis de regresión.

## V. RESULTADOS

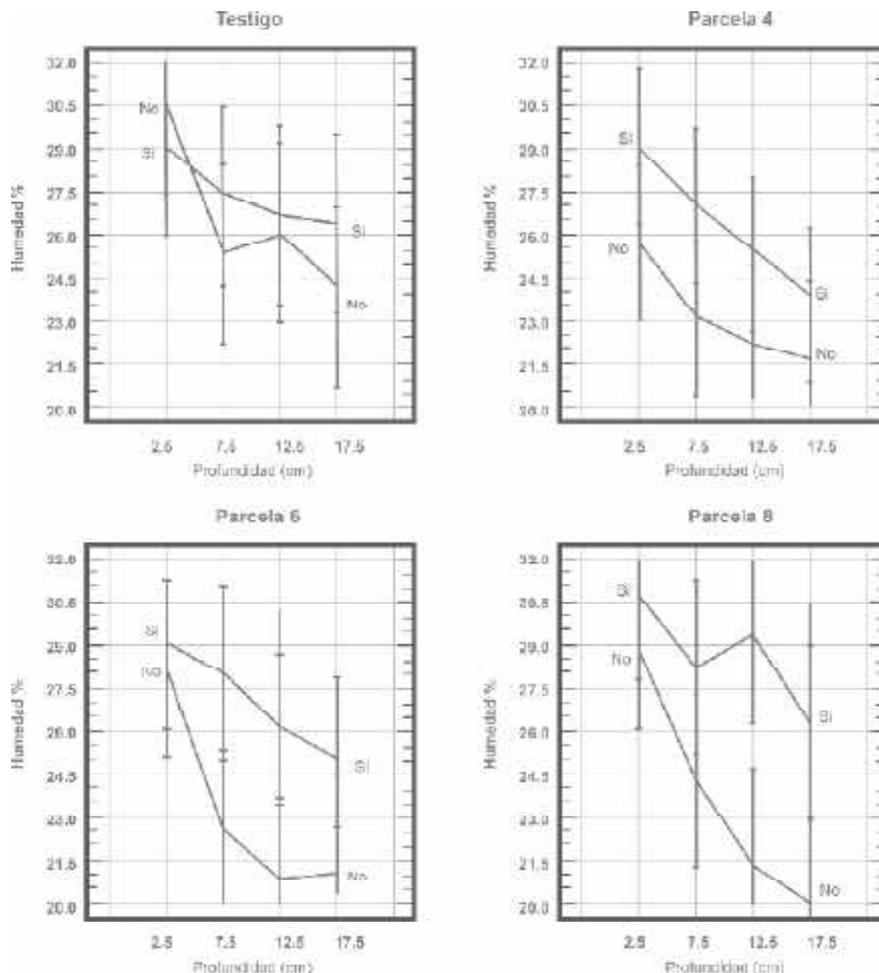
Se detectaron diferencias altamente significativas en la humedad gravimétrica por efecto del escarificado ( $F=128.14$ ;  $Pr>F<0.0001$ ), de los bloques ( $F=26.20$ ;  $Pr>F<0.0001$ ), de las parcelas ( $F=10.20$ ;  $Pr>F=0.0002$ ) y por la profundidad a la cual fueron obtenidas las muestras de suelo ( $F=54.23$ ;  $Pr>F<0.0001$ ). A diferencia de lo observado con la DA (Parte I de este trabajo) existió una interacción significativa entre el tratamiento y los

bloques ( $F=6.75$ ;  $Pr>F<0.0118$ ) por lo cual se desglosaron los resultados correspondientes a los bloques II y III.

### CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL BLOQUE II

En forma similar a lo señalado al considerar los resultados de ambos bloques, existieron efectos significativos del tratamiento ( $F=44.21$ ;  $Pr>F<0.0001$ ), las parcelas ( $F=5.91$ ;  $Pr>F=0.0011$ ) y la profundidad ( $F=27.67$ ;  $Pr>F<0.0118$ ). Se detectó una interacción significativa escarificado x parcela ( $F=2.96$ ;  $Pr>F<0.0370$ ). En la **Figura 2.5** se grafican los contenidos de humedad a distintas profundidades y en el **Cuadro 2.6** se presenta la humedad promedio de las parcelas en el horizonte superficial.

El contraste ortogonal realizado para comparar la humedad en los testigos y las parcelas compactadas, en todos los casos sin escarificar, arrojó una  $Pr>F$  igual a 0.005. Cuando el contraste se efectuó con las parcelas compactadas y escarificadas, tal probabilidad fue 0.4784.



**Figura 2.5.** Humedad gravimétrica a distintas profundidades en las distintas parcelas del bloque II. Sitios escarificado (Si) y sin escarificar (No). Intervalos de confianza al 95%.

**Cuadro 2.6.** Humedad gravimétrica del suelo en las parcelas del bloque II en los surcos escarificados (Si) y en los entresurcos sin escarificar (No).

Bloque	Escarificado	Parcela	Prof. (cm)	Cantidad muestras	H prom. (%)	Intervalo de confianza de la media (95%)	
II	No	0 (testigo)	0 a 20	12	26.40	25.11	27.67
II	Si		0 a 20	12	27.31	26.03	28.59
II	No	4	0 a 20	12	22.96	21.68	24.24
II	Si		0 a 20	12	26.08	24.80	27.36
II	No	6	0 a 20	12	23.28	21.99	24.56
II	Si		0 a 20	12	26.62	25.34	27.90
II	No	8	0 a 20	12	23.97	22.69	25.25
II	Si		0 a 20	12	28.68	27.39	29.96

REF: Prof.: Profundidad; H prom.: humedad promedio.

### CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL BLOQUE III

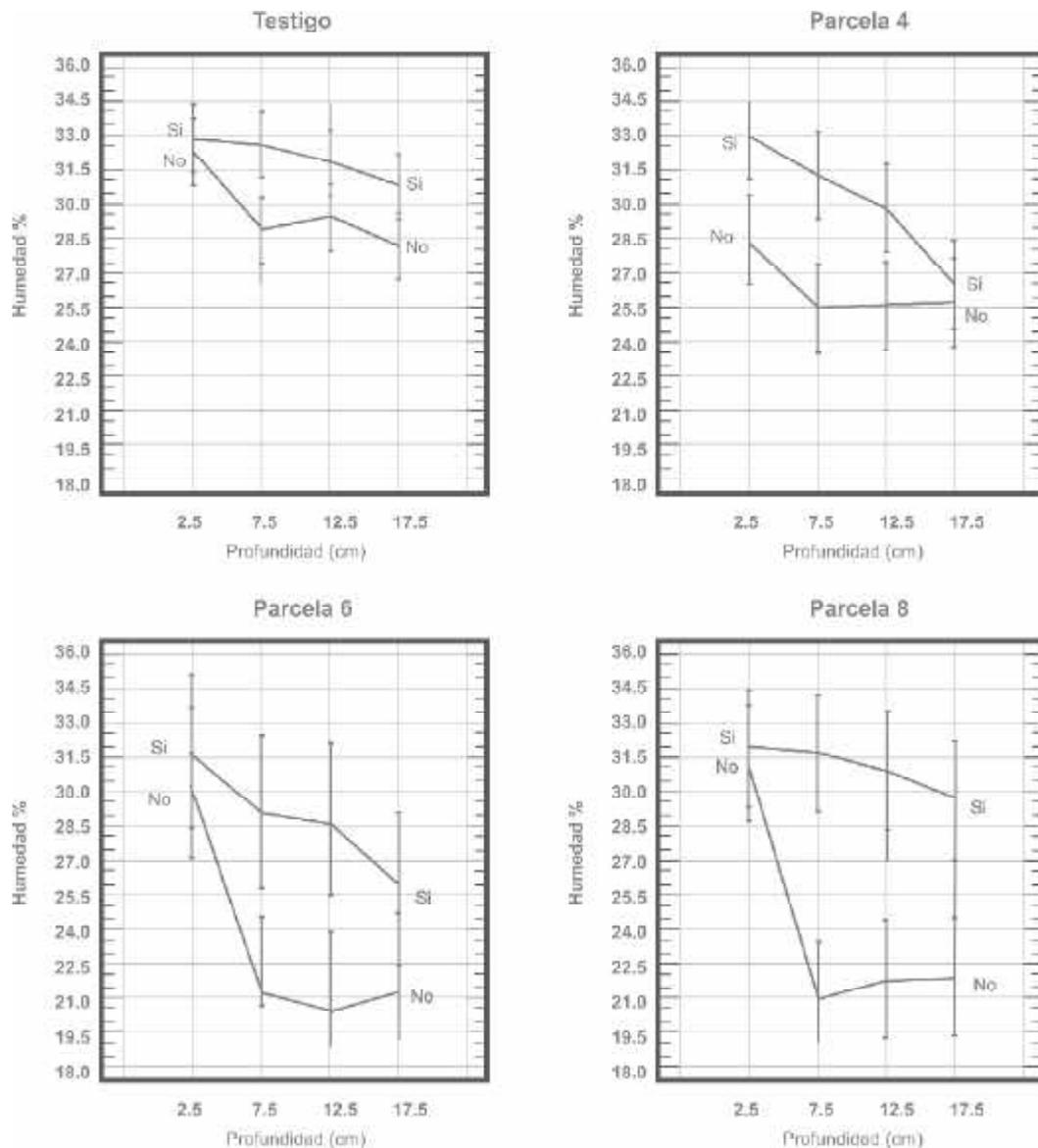
Coincidentemente con lo señalado en el bloque II, se detectaron efectos significativos por el tratamiento ( $F=100.62$ ;  $Pr>F<0.0001$ ), por la parcela ( $F=12.61$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) y por la profundidad ( $F=32.30$ ;  $Pr>F<0.0001$ ). Se presentó una interacción significativa entre el tratamiento y la profundidad ( $F=6.074$ ;  $Pr>F=0.0009$ ). En el **Cuadro 2.7** presenta la humedad promedio de las parcelas en el horizonte superficial y en la **Figura 2.6** se

grafican los contenidos de humedad a distintas profundidades. Otro punto de concordancia surge al comparar el contenido de humedad de los testigos y las parcelas compactadas: sin escarificar, el testigo presentó diferencias significativas con las parcelas compactadas ( $F=123.11$ ;  $Pr>F=0.0021$ ). Estas diferencias se minimizaron cuando las parcelas compactadas fueron escarificadas ( $F=27.58$ ;  $Pr=>F=0.1383$ ).

**Cuadro 2.7.** Humedad gravimétrica del suelo en las parcelas del bloque III en los surcos escarificados (Si) y en los entresurcos sin escarificar (No).

Bloque	Escarificado	Parcela	Prof. (cm)	Cantidad muestras	H prom. (%)	Intervalo de confianza de la media (95%)	
III	No	0	0 a 20	12	27.81	26.47	29.15
III	Si		0 a 20	12	30.58	29.24	31.92
III	No	4	0 a 20	12	26.22	24.87	27.56
III	Si		0 a 20	12	30.87	29.53	32.21
III	No	6	0 a 20	12	22.93	21.58	24.27
III	Si		0 a 20	12	28.70	27.36	30.04
III	No	8	0 a 20	12	23.20	21.85	24.54
III	Si		0 a 20	12	29.12	27.78	30.46

REF: Prof.: Profundidad; H prom.: humedad promedio.

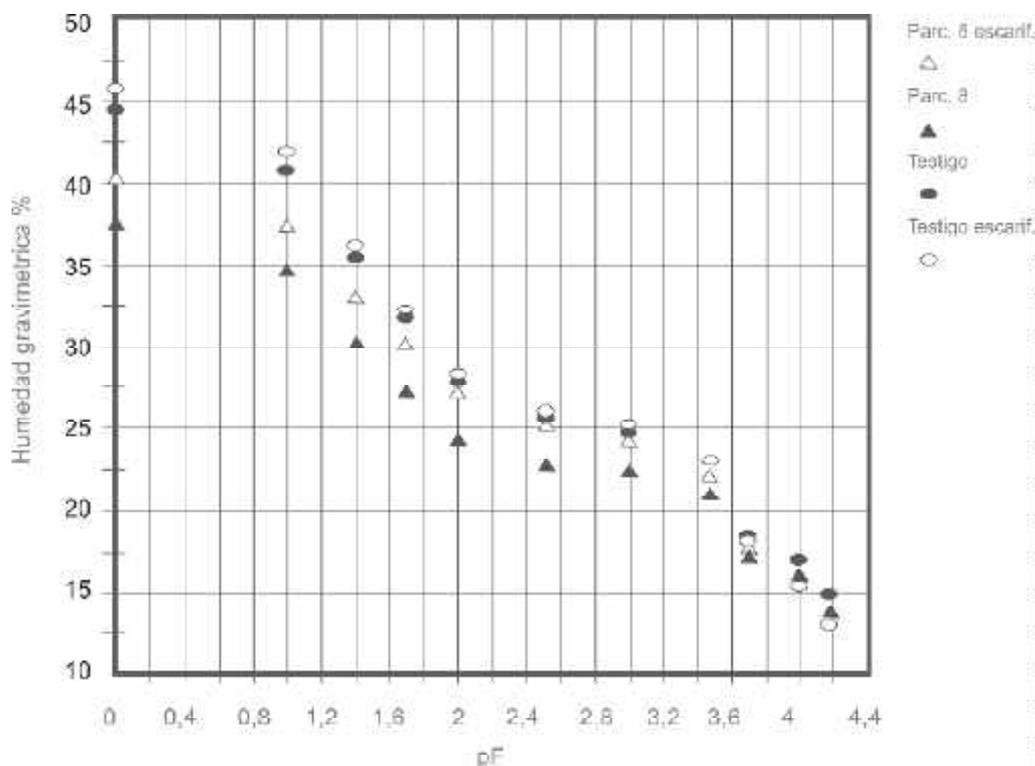


**Figura 2.6.** Humedad gravimétrica a distintas profundidades en las distintas parcelas del bloque III. Sitios escarificado (Si) y sin escarificar (No). Intervalos de confianza al 95%.

## CURVA DE RETENCIÓN HÍDRICA

En la **Figura 2.7** se presentan las curvas de retención correspondientes a la parcela 8 y del testigo del bloque II,

sobre muestras tomadas los primeros 20cm de suelo en los surcos escarificados y sin escarificar.



**Figura 2.7.** Curvas de retención hídrica parcela 8 del y del testigo del bloque II de los surcos escarificados y en los entresurcos sin escarificar.

## AGUA ÚTIL Y POROSIDAD

En el **Cuadro 2.8** se indica el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo y el agua útil, expresada en forma gravimétrica y volumétrica. En el **Cuadro 2.9**, se relacionan la porosidad ocupada

con aire, el contenido de humedad gravimétrica y la succión con la que es retenida el agua cuando el suelo presenta el 10% de sus poros con aire.

**Cuadro 2.8.** Contenido de humedad a capacidad de campo, en coeficiente de marchitez permanente y agua útil, en las parcelas 8 y testigo del bloque II. Profundidad: 0 a 0.20m.

Tratamiento		Contenido de humedad			
Parcela	Escarificado	Capacidad de campo (%)	Coefficiente de marchitez permanente	Agua útil (%)	Agua útil mm/100mm
8	No	24.4	12.9	11.5	17.1
8	Si	27.2	12.8	14.4	20.0
Testigo	No	27.9	12.9	15.0	20.0
Testigo	Si	28.4	12.1	16.3	21.0

**Cuadro 2.9.** Volumen de poros con aire a capacidad de campo y contenido de humedad y succión cuando el suelo posee el 10% de sus poros con aire. Porosidad expresada en volumen/volumen. Parcela 8 y testigo. Bloque II.

Tratamiento		Umbral de 10% de poros con aire (v/v)				
Parcela	Escarificado	Poros con aire a capacidad de campo (%)	Humedad del suelo remanente (%)	Porcentaje de capacidad de campo	Porcentaje del agua útil remanente	pF
8	No	6.4	19.8	81.0	60.1	3.60
8	Si	7.1	23.6	86.8	75.0	3.17
Testigo	No	8.0	25.3	90.5	82.3	2.80
Testigo	Si	9.1	27.2	95.7	92.5	2.30

## VI. DISCUSIÓN

### CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

La interacción observada entre el escarificado y los bloques indica, en principio, una respuesta diferencial del tratamiento. No obstante, si se comparan los resultados de las tablas y los gráficos presentados en cada bloque, se observan en ambos casos idénticas tendencias; las diferencias en los contenidos de humedad entre los surcos y los entresurcos se acrecientan de los testigos a las parcelas más compactadas. Por otra parte, los contrastes ortogonales realizados en ambos bloques, indican que la humedad de las parcelas compactadas en los sitios escarificados es equiparable a la de los sitios sin escarificar. Resulta claro entonces que la interacción mencionada anteriormente, se debe a una diferencia en la magnitud de la respuesta y no a un cambio en su tendencia. Tal diferencia es atribuible a la posición de los bloques en el relieve.

A partir de los resultados presentados en los puntos anteriores, también es fácilmente perceptible la relación inversa entre los valores alcanzados por la densidad aparente (Parte I) y el contenido de humedad. Pudo establecerse un coeficiente de correlación entre ambos parámetros de -0.56 con un valor de "F" de 105.04 ( $P_{r>F} < 0.0001$ ). El mayor contenido de humedad asociado con la menor densidad aparente, es un claro reflejo de la mejor condición física del suelo existente en los sitios no transitados (testigos) con la aplicación o no del tratamiento y en los surcos escarificados.

### POTENCIAL AGUA DEL SUELO, AGUA ÚTIL Y POROSIDAD

A partir de la observación de las curvas de retención hídrica, pueden hacerse las siguientes consideraciones:

- A un pF = 0 todos los poros se encuentran saturados con agua. En este punto, resulta claro que el porcentaje de humedad que corresponde a cada uno de los tratamientos evaluados es un fiel reflejo de la porosidad total que posee el suelo. En un orden de humedad creciente se ubican sobre la ordenada la parcela compactada, la parcela compactada y escarificada, el testigo y por último, el testigo escarificado que es el que presenta el mayor contenido de humedad.
- Tal como era de esperarse, las mayores diferencias entre las curvas del testigo y la parcela compactada y los sitios escarificados y sin escarificar se observan a valores de pF inferiores a 2.52, ya que tanto las cargas ejercidas sobre el suelo como cualquier acción realizada para mitigar sus efectos, modifican principalmente a los poros de mayores dimensiones ( $\varnothing > 30\mu\text{m}$ ).
- El efecto del escarificado es menor en el testigo que en la parcela compactada.
- Las diferencias entre los tratamientos resultan mínimas a nivel de microporos ( $\varnothing < 0,50\mu\text{m}$ ) que corresponden a pF mayores a 3.7 o 5000 centímetros de columna de agua.

Respecto del agua útil (**Cuadro 2.8**), la acción del escarificado en la parcela 8 produjo un incremento del 25.2% en la gravimétrica y del 16.9% en la volumétrica. En el testigo, los aumentos fueron del 8.7% y del 4.7% respectivamente.

La porosidad total en la parcela 8 implantada bajo SD fue del 49.5% y del 51.5% cuando se utilizó el accesorio bajo estudio. En el testigo, la porosidad total fue del 53.8% y del 54.5% respectivamente. En todos los casos este parámetro está expresado en volumen de poros sobre el volumen total del suelo (v/v).

Resulta de interés analizar ahora en forma conjunta la porosidad de aireación y el contenido de humedad, ya que ambos parámetros son sumamente dinámicos y se encuentran estrechamente relacionados. Pese a la existencia de profundas diferencias en las características del espacio poroso en distintos tipos de suelos, es ampliamente aceptado que con un 10% de volumen de poros con aire el intercambio de gases resulta apropiado. La porosidad ocupada por aire depende entonces de las características del espacio poroso y del contenido de humedad que posea el suelo en cada momento. En el **Cuadro 2.9** puede apreciarse que el testigo escarificado prácticamente alcanzó el umbral señalado a capacidad de campo, lo cual significa que se logra la aireación crítica con un elevado contenido de humedad. El caso opuesto ocurrió con la parcela 8 sin escarificar, donde el suelo deberá secarse hasta el 81.0% de su capacidad de campo, o lo que es equivalente al 60.1% del agua útil, para que la aireación no resulte limitante. En este punto el agua ocupa los microporos, por lo cual está fuertemente retenida por la matriz sólida del suelo. Tanto en el testigo como en la parcela 8, el escarificado incrementó el volumen de poros ocupado con aire a capacidad de campo, el contenido de humedad del suelo cuando el 10% de los poros se encuentran llenos de aire y redujo potencial mátrico del agua del suelo.

## VII. CONCLUSIONES

- La acción del escarificado incrementó la porosidad del suelo. El efecto tuvo mayor intensidad en las parcelas compactadas que en los testigos.
- La modificación de la porosidad aumentó la capacidad de retención hídrica y de aireación del suelo.
- La persistencia del efecto del escarificado se extendió durante todo el ciclo del cultivo.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL ADAWI, S.S. and REEDER, R.C. 1996. *Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties*. Transaction of the ASAE 1996. v.39. (5): 1641-1649.
- BOSCH, D.D.; POTTER, L.P.; TRUMAN, C.C.; BEDNARZ, C. and STRICKLAND, T. 2004. *Surface runoff and lateral subsurface flow as a response to conservation tillage and soil water conditions*. Paper N° 042134. ASAE Annual International Meeting. Ontario. August 2004.
- CASSEL, D.K.; RACZKOWSKI, C.W. and DENTON, H.P. 1995. *Tillage effects on corn production and soil physical conditions*. Soil Sci.Soc. Am.J. 59 (5): 1436-1443.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R. and SIEMENS, J. 1998. *Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil*. Soil Science. 163 (12): 970-981.
- LICHT, M. A. and AL KAISI, M. 2005. *Strip tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties*. Soil & Tillage Research 80 (2005). pp.233-249.
- LINDSTROM, M.J. and ONSTAD, C.A. 1984. *Influence of tillage systems on soil physical parameters and infiltration after planting*. J. Soil & Water Conservation. 39: 149-152.
- POTTER, K.N. and CHICHESTER, F.W. 1993. *Physical and chemical properties of a vertisol with continuous controlled-traffic no till management*. Transaction of the ASAE 36(1): 95-98.
- RAPER, R.L.; REEVES, D.W.; BURT, E.C. and TORBERT, H.A. 1993. *Conservation tillage and traffic effects on soil condition*. Transaction of the ASAE 37 (3): 763-768.
- SCWAB, E.B.; REEVES, D.W.; BURMESTER, C.H. and RAPER, R.L. 2002. *Conservation tillage systems for cotton in Tennessee Valley*. Soil Sci. Soc. Am. J. 66 (3): 569-577.
- VYN, J.T. and RAINBAULT, B.A. 1993. *One degree increments in soil temperature affect maize seedling behaviour*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33. pp.729-736.

# EVALUACIÓN DE UN ACCESORIO ESCARIFICADOR PARA SEMBRADORAS DE GRANO GRUESO

## PARTE III: RESISTENCIA DEL SUELO A LA PENETRACIÓN Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO

*por Mario Omar Tesouro;  
Adriana Mónica Fuica;  
Leonardo Venturelli;  
Gerardo Masiá;  
Jorge Emilio Smith;  
S. A. Figueiro Aureggi  
CNIA. CIA. INTA Castelar, Argentina*

### I. RESUMEN

El proceso de densificación en los suelos con elevado contenido de arcilla se magnifica luego de un período prolongado de agricultura sin labranza. El deterioro ocasionado se manifiesta primeramente, a través del aumento de la densidad aparente (DA) y de la resistencia a la penetración (RP), como así también en la reducción de la permeabilidad al agua y al aire. Resulta necesario probar la eficacia de métodos de cultivo alternativos como la labranza en franjas, o medidas correctivas como el subsolado, que permitan mantener una condición física del suelo más favorable. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto sobre el suelo y el rendimiento del cultivo de soja de un accesorio escarificador para sembradoras de grano grueso, sobre un Argiudol vértico con diferentes grados de compactación. En esta tercera parte se evalúan los cambios provocados en la RP y el efecto sobre el rendimiento del cultivo. La experiencia se realizó en un ensayo de compactación que

se lleva a cabo en el Instituto de Ingeniería Rural (INTA Castelar). El escarificado redujo la resistencia a la penetración en los testigos y en las parcelas compactadas. Su acción fue perceptible en un ancho de banda de 0.2m. La persistencia del efecto se extendió durante todo el ciclo del cultivo. El escarificado incrementó el rendimiento del cultivo. Existió una respuesta diferencial en función de la profundidad del perfil del suelo y del grado de compactación de las parcelas.

**Palabras claves:** labranza en franjas; resistencia del suelo a la penetración; rendimiento del cultivo de soja.

## II. SUMMARY

On soils with high clay content continuous use of no-tillage cropping causes an increase in soil dry bulk density, soil penetrometer resistance, with decreased water infiltration and air exchange rate. It becomes necessary to test alternative soil treatments as strip tillage, subsoilers and planter attachments in order to maintain an adequate soil physical condition. In order to study the effect of using local soil loosening over soybean crops a specific chisel ripper planter attachment was tested in an argiudol vertic soil with different degree of compaction. In this third part the changes in soil penetration resistance and crop yield is studied. The experience was carried over on a compaction experimental plot of the Rural Engineering Institute (INTA Castelar). The treatment reduced the soil resistance in the compacted and no compacted plots. The action was detected on a width of 0.2 meters. The persistence of the effect extended all over the crop cycle. An increase in yield was measured in the tillage plots, the differences were related to the depth of the soil profile and the degree of initial compaction.

## III. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

En los últimos años se han producido en nuestro país cambios sustanciales en el manejo de los sistemas de producción agrícola. Quizás, el más emblemático haya sido el retroceso de las formas tradicionales de preparación del suelo frente al avance de la siembra directa (SD). Esta forma de cultivo permitió superar algunos de los efectos indeseables de la labranza convencional. Pero, simultáneamente generó nuevos interrogantes y magnificó la ocurrencia de otros procesos perjudiciales sobre el ambiente, como el de la compactación edáfica, que deben ser minimizados para mantener la integridad de los agroecosistemas. La técnica de no labranza presenta su principal desafío en suelos pobremente drenados, en los cuales sus propiedades físicas superficiales son afectadas debido a la ausencia de la labranza como medida correctiva (Licht *et al.*, 2005). En muchos casos, el aumento del escurrimiento superficial del agua observado en suelos con esta forma de cultivo, ha sido atribuido al incremento de la compactación y de la DA (Lindstrom; Onstad, 1984; Potter; Chichester, 1993; Cassel *et al.*, 1995; Hussain *et al.*, 1998).

El deterioro del estado físico del suelo puede ser mitigado mediante sistemas de labranza conservacionista como la labranza en franjas (Raper *et al.*, 1994; Schwab *et al.*, 2002) o por medio del subsolado (Al Adawi; Reeder, 1996). La labranza en franjas posee el potencial para mejorar las condiciones para el desarrollo de los cultivos, manteniendo las ventajas de la SD pues los

entresurcos permanecen sin disturbar y cubiertos de residuos (Vyn, Raimbault, 1993). Existe la necesidad de mantener una sistemática y continua investigación que brinde una evaluación precisa de las consecuencias ambientales y económicas del empleo de diversos sistemas de labranza y no labranza, a fin de contar con la información necesaria para decidir el mejor sistema de manejo para cada tipo de suelo (Bosch *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto sobre el suelo y el rendimiento del cultivo de soja de un accesorio escarificador para sembradoras de grano grueso sobre un Argiudol vértico con diferentes grados de compactación. En esta tercer parte se evalúan los cambios en la resistencia de suelo y el rendimiento del cultivo.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de ensayo y el dispositivo evaluado se encuentran descritos en la primer parte de este trabajo.

Luego de efectuada la cosecha a fines de mayo de 2004 y a fin de cuantificar la magnitud y la persistencia del efecto del escarificado fueron relevados, en los bloques II y III, el contenido de humedad y la DA del suelo en los surcos y en los entresurcos y los perfiles de resistencia del suelo.

Los perfiles de resistencia del suelo fueron determinados muestreando a lo largo de tres transectas, perpendiculares a la dirección de siembra, en cada una de las parcelas hasta una profundidad de 0.25m. Las mediciones se efectuaron en el centro de los surcos, a 0.10m del centro y en el entresurco (a 0.35m del centro) y abarcaron los cinco surcos de la sembradora. La RP fue evaluada empleando un penetrometro estandarizado (ASAE Standard S.313. 1992).

La cosecha, que incluyó las subparcelas escarificadas y sin escarificar de los tres bloques, se efectuó manualmente a fines de mayo de 2004, recolectando al azar tres muestras de dos metros de surco por subparcela (Azooz *et al.*, 1995). Las muestras fueron trilladas mediante una máquina estacionaria.

La evaluación estadística de la RP se efectuó mediante análisis de varianza para un diseño en bloques completos aleatorizados (DBCA). Los efectos principales considerados en dicho análisis fueron, los bloques, el escarificado (tratamiento), las parcelas y las profundidades. Se incluyeron en el modelo las interacciones dobles entre el tratamiento y el resto de los efectos. La significación estadística del tratamiento en los bloques, parcelas y profundidades fue determinada mediante la prueba de com-

paraciones múltiples de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) y contrastes ortogonales. En el caso del rendimiento del cultivo, en el modelo fueron considerados el tratamiento, los bloques y las parcelas y se incluyeron las interacciones dobles y la triple.

## V. RESULTADOS

### RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

Se detectaron diferencias altamente significativas en la RP por efecto del escarificado ( $F=92.01$ ;  $Pr>F<0.0001$ ), de los bloques ( $F=181.11$ ;

$Pr>F<0.0001$ ), de las parcelas ( $F=47.40$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) y por la profundidad ( $F=54.23$ ;  $Pr>F<0.0001$ ). Existieron interacciones significativas entre el tratamiento y las parcelas ( $F=2.64$ ;  $Pr>F=0.0049$ ) y entre el tratamiento y la profundidad ( $F=6.14$ ;  $Pr>F<0.0001$ ). No alcanzó significación la interacción tratamiento x bloque ( $F=1.84$ ;  $Pr>F<0.1374$ ).

En el **Cuadro 2.10** se presentan los resultados de la resistencia media del perfil (0 a 0.25m) en los surcos (distancia relativa=0), en los entresurcos (distancia relativa=35) y a +/- 0.10m del centro del surco, en las distintas parcelas.

**Cuadro 2.10.** Resistencia a la penetración promedio del perfil en las distintas parcelas en los bloques II y III.

Distancia relativa (cm)	Índice de cono (kPa)			
	Testigo	Parcela 4	Parcela 6	Parcela 8
0	620.2	929.6	970.2	981.6
10	1079.9	1294.9	1223.7	1298.0
-10	855.6	1273.0	1416.9	1350.0
35	1195.5	1594.0	1580.9	1453.5

REF: Distancia relativa: 0 = surcos escarificados; +10 = distancia al centro del surco (derecha); -10 = distancia al centro del surco (izquierda); 35 = distancia al centro del surco (entresurco sin escarificar).

#### Resistencia a la penetración en los testigos

Considerando todo el perfil del suelo, las diferencias en la RP entre los entresurcos y el centro de los surcos ( $F=78.10$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) y entre aquellos y los bordes del surco, es decir a +/- 0.10m ( $F=16.32$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) resultaron altamente significativas. A las diferentes profundidades, los surcos fueron siempre diferentes a los entresurcos. Los bordes resultaron diferentes a los entresurcos en el rango de 0.05m a 0.10m de profundidad ( $F=6.52$ ;  $Pr>F=0.0109$ ) y en el de 0.15 a 0.20m ( $F=5.54$ ;  $Pr>F<0.0189$ ).

#### Resistencia a la penetración en las parcelas 4

Las diferencias en la RP en el perfil del suelo entre los entresurcos y el centro de los surcos ( $F=85.73$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) y entre aquellos y los bordes del surco ( $F=24.89$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) resultaron altamente significativas. A las diferentes profundidades, los surcos fueron siempre diferentes a los entresurcos. Los bordes resultaron diferentes a los entresurcos en el rango de 0.05m a 0.10m de profundidad ( $F=12.14$ ;  $Pr>F=0.0005$ ), en el de 0.10 a 0.15m ( $F=11.12$ ;  $Pr>F=0.0009$ ) y en el de 0.15 a 0.20m ( $F=4.70$ ;  $Pr>F=0.0305$ ).

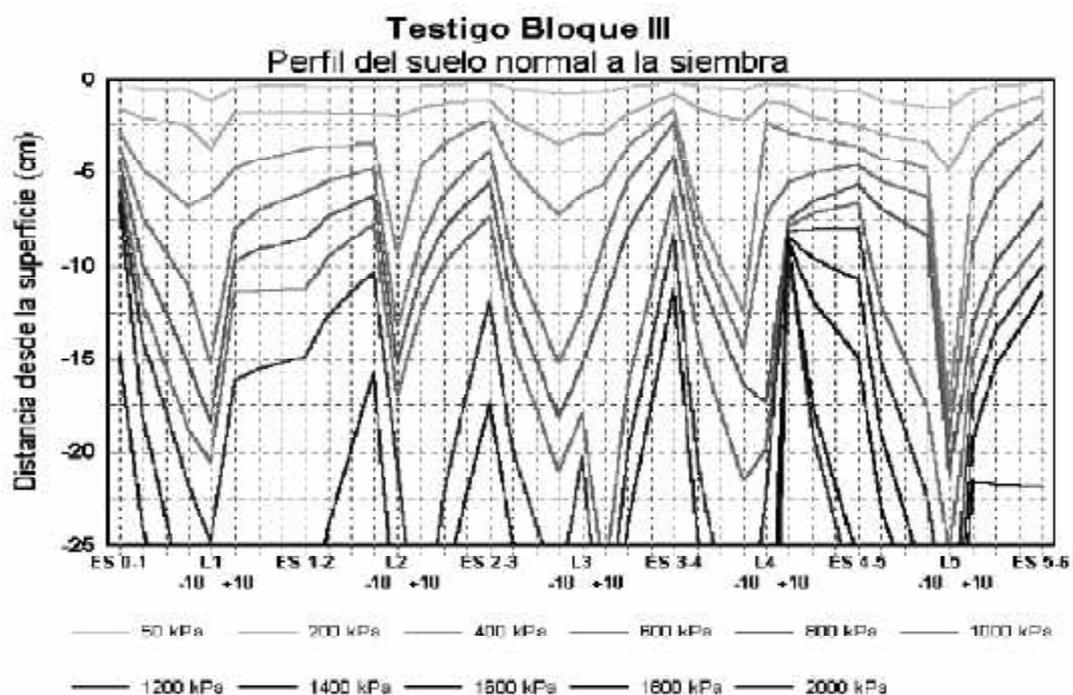
#### Resistencia a la penetración en las parcelas 6

Estas parcelas tuvieron una respuesta casi idéntica a la anterior: las diferencias en la RP entre los entresurcos y el centro de los surcos ( $F=72.63$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) y entre aquellos y los bordes del surco ( $F=17.60$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) resultaron altamente significativas. A las diferentes profundidades, los surcos fueron siempre diferentes a los entresurcos. Los bordes resultaron diferentes a los entresurcos en el rango de 0.05m a 0.10m de profundidad ( $F=6.71$ ;  $Pr>F=0.0098$ ), en el de 0.10 a 0.15m ( $F=6.65$ ;  $Pr>F=0.0102$ ) y en el de 0.15 a 0.20m ( $F=4.89$ ;  $Pr>F=0.0274$ ).

#### Resistencia a la penetración en las parcelas 8

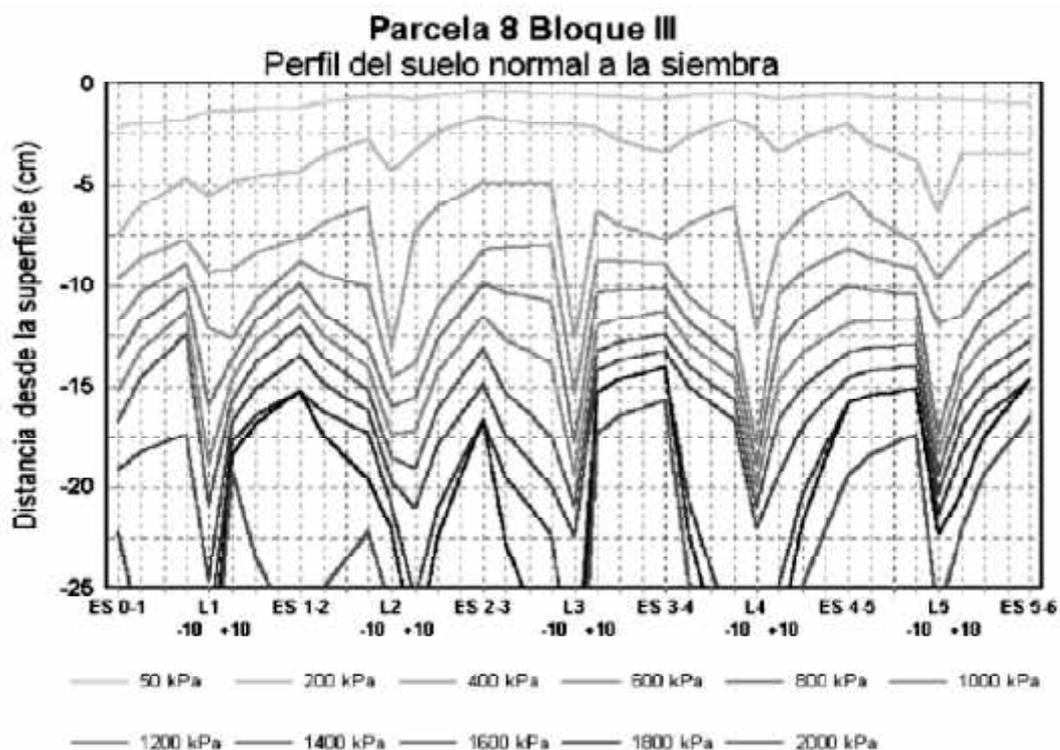
Las diferencias en la RP en el perfil del suelo entre los entresurcos y el centro de los surcos ( $F=37.07$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) resultaron altamente significativas. Entre aquellos y los bordes del surco apenas alcanzaron el umbral de significación ( $F=3.71$ ;  $Pr>F=0.05$ ). A las diferentes profundidades, los surcos fueron siempre diferentes a los entresurcos. Los bordes resultaron diferentes a los entresurcos a las mayores profundidades, en el rango de 0.10 a 0.15m ( $F=6.33$ ;  $Pr>F=0.0121$ ) y en el de 0.15 a 0.20m ( $F=3.83$ ;  $Pr>F=0.05$ ).

A título ilustrativo se presentan en las **Figuras 2.8 y 2.9** los perfiles de resistencia a la penetración del testigo y de la parcela 8 en el bloque III.



REF: L1, L2, L3, L4, L5: línea de cultivo (escarificadas); ES: entresurcos; +10 y -10: bordes de los surcos.

Figura 2.8. Perfil de resistencia del suelo en el testigo del bloque III. Las líneas representan puntos de igual resistencia a la penetración.



REF: L1, L2, L3, L4, L5: línea de cultivo (escarificadas); ES: entresurcos; +10 y -10: bordes de los surcos.

Figura 2.9. Perfil de resistencia del suelo en la parcela 8 del bloque III. Las líneas representan puntos de igual resistencia a la penetración.

## RENDIMIENTO DEL CULTIVO

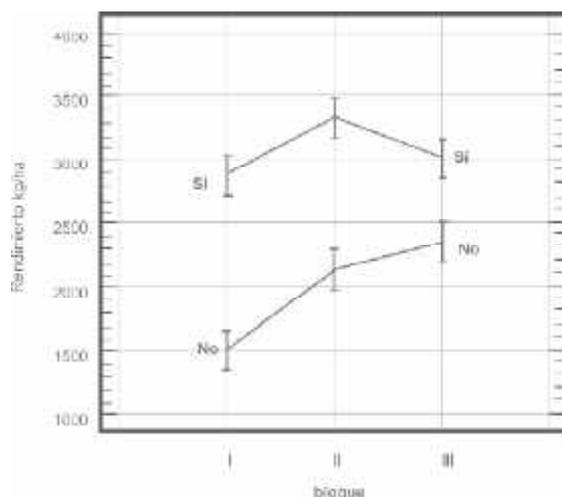
El rendimiento del cultivo presentó diferencias significativas entre bloques ( $F=29.11$ ;  $Pr>F<0.0001$ ), por la acción del escarificador ( $F=307.19$ ;  $Pr>F<0.0001$ ) y por efecto de las parcelas ( $F=12.63$ ;  $Pr>F=0.0002$ ). Se detectaron interacciones significativas entre el escarificado y los bloques ( $F=11.79$ ;

$Pr>F<0.0001$ ) y entre los bloques, las parcelas y el tratamiento ( $F=4.18$ ;  $Pr>F=0.0002$ ). El efecto del tratamiento en los distintos bloques se indica en el **Cuadro 2.11** y en la **Figura 2.10**. En el **Cuadro 2.12** de desglosan los rendimientos por bloque y parcela.

**Cuadro 2.11.** Rendimiento promedio del cultivo de soja en los distintos bloques. Dentro de cada bloque letras iguales indican ausencia de diferencias significativas (Tukey  $\alpha=0.05$ ).

Bloque	Escarificado	Parcela	Cantidad muestras	Rto. prom. (kg/ha)	Intervalo de confianza de la media (95%)	
I	Si	0; 4; 6; 8	12	2957 a	2764	3149
I	No	0; 4; 6; 8	12	1586 b	1393	1778
II	Si	0; 4; 6; 8	12	3381 a	3189	3573
II	No	0; 4; 6; 8	12	2197 b	2005	2389
III	Si	0; 4; 6; 8	12	3075 a	2883	3268
III	No	0; 4; 6; 8	12	2408 b	2216	2600

REF: Rto. prom.: rendimiento promedio.



**Figura 2.10.** Rendimiento del cultivo de soja en los diferentes bloques. Subparcelas escarificadas (Si) y subparcelas implantadas con el de tren de distribución convencional la sembradora (No).

**Cuadro 2.12.** Rendimiento promedio del cultivo de soja por bloque y por parcela. Dentro de cada bloque letras iguales indican ausencia de diferencias significativas (Tukey  $\alpha=0.05$ ).

Bloque	Escarificado	Rendimiento promedio (kg/ha)			
		Testigo	Parcela 4	Parcela 6	Parcela 8
I	Si	3568 a	3126 ab	2456 bc	2678 c
I	No	1942 cd	1457 de	1259 e	1674 de
II	Si	3331 a	2759 ab	2970 ab	3107 ab
II	No	2475 b	1802 bc	1659 c	1495 c
III	Si	2979 a	2827 a	3398 a	3101 a
III	No	2523 ab	2696 ab	2091 b	2323 b

## VI. DISCUSIÓN

### RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

La RP es un parámetro del suelo que normalmente presenta un elevado grado de variabilidad espacial y temporal. Resulta profundamente afectado por otras magnitudes físicas como la DA y fundamentalmente, por el contenido de humedad existente en el momento de efectuar las mediciones. Dicha variabilidad dificulta la observación precisa y las comparaciones de los efectos de los tratamientos. Pese a ello, los resultados obtenidos a partir de la realización de las transectas en las distintas parcelas, muestran una serie de tendencias unívocas y con significación estadística, las cuales se señalan a continuación. En todos los casos, la RP en los surcos escarificados fue significativamente menor a la de los entresurcos sin escarificar. Las líneas de igual RP se aproximaron a la superficie en los entresurcos y se hicieron más profundas en los surcos, lo cual determinó la existencia de la interacción "Distancia relativa x profundidad" en el análisis de varianza. La propagación lateral del efecto del escarificado fue claramente perceptible a una distancia de +/- 10cm del centro del surco. En este sentido, no hay ninguna evidencia que indique una posible compactación lateral en los surcos a causa del escarificado.

Al igual que lo observado con la DA y la humedad, las diferencias ocasionadas en la RP por el tratamiento, resultaron mínimas en el rango de profundidad de 0 a 5cm.

### RENDIMIENTO DEL CULTIVO

La acción del descompactador se manifestó nítidamente, aunque con distinta intensidad, en los tres bloques. Su efecto fue mayor en los bloques con perfiles más someros (I y II) que en el de mayor profundidad. El rendimiento promedio del bloque I escarificado prácticamente duplicó al obtenido con el tren de siembra estándar de la máquina. En el II, la diferencia promedio superó los 1000 kilogramos, mientras que en el III fue del orden de los 600 kilogramos. Esta disímil respuesta del tratamiento determinó que el efecto de la ubicación de los bloques en la toposecuencia resultara poco perceptible en las parcelas escarificadas y que se apreciara claramente en aquellas implantadas con el tren de siembra convencional de la máquina (**Figura 2.10**). La interacción triple, a su vez, indica que dentro de cada uno de los bloques hay una respuesta diferencial del tratamiento en las diferentes parcelas. En el bloque I, el escarificado casi duplicó el rinde en todas las parcelas. En el otro extremo, el bloque III, en el testigo y en las parcelas 4 las diferencias en el rinde no alcanzaron significación estadística, lo que sí ocurrió en las parcelas 6 y 8.

## VII. CONCLUSIONES

- El escarificado redujo la resistencia a la penetración en los testigos y en las parcelas compactadas.
- Su acción fue perceptible en un ancho de banda de 0.2m.
- La persistencia del efecto del escarificado se extendió durante todo el ciclo del cultivo.
- El escarificado incrementó el rendimiento del cultivo. Existió una respuesta diferencial en función de la profundidad del perfil del suelo y del grado de compactación de las parcelas.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL ADAWI, S.S. and REEDER, R.C. 1996. *Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties*. Transaction of the ASAE. 1996. 39 (5): 1641-1649.
- AZOOZ, R.H.; LOWERY, B. and DANIEL, T.C. 1995. *Tillage and residue management influence on corn growth*. Soil and Tillage Research 33: 215-227.
- BOSCH, D.D.; POTTER, L.P.; TRUMAN, C.C.; BEDNARZ, C. and STRICKLAND, T. 2004. *Surface runoff and lateral subsurface flow as a response to conservation tillage and soil water conditions*. Paper N° 042134. ASAE Annual International Meeting. Ontario. August 2004.
- CASSEL, D.K.; RACZKOWSKI, C.W. and DENTON, H.P. 1995. *Tillage effects on corn production and soil physical conditions*. Soil Sci.Soc. Am.J. 59 (5): 1436-1443.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R. and SIEMENS, J. 1998. *Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil*. Soil Science. 163 (12): 970-981.
- LICHT, M.A. and AL KAISI, M. 2005. *Strip tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties*. Soil & Tillage Research 80 (2005). pp.233-249.
- LINDSTROM, M.J. and ONSTAD, C.A. 1984. *Influence of tillage systems on soil physical parameters and infiltration after planting*. J. Soil & Water Conservation. 39: 149-152.
- POTTER, K.N. and CHICHESTER, F.W. 1993. *Physical and chemical properties of a vertisol with continuous controlled-traffic no till management*. Transaction of the ASAE 36(1): 95-98.

RAPER, R.L.; REEVES, D.W.; BURT, E.C. and TORBERT, H.A. 1993. *Conservation tillage and traffic effects on soil condition*. Transaction of the ASAE 37 (3): 763-768.

SCWAB, E.B.; REEVES, D.W.; BURMESTER, C.H. and RAPER, R.L. 2002. *Conservation tillage systems for cotton in Tennessee Valley*. Soil Sci. Soc. Am. J. 66 (3): 569-577.

VYN, T.J. and RAINBAULT, B.A. 1993. *One degree Increments in soil temperatures affect maize seedling behaviour*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33. pp.729-736.



## COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

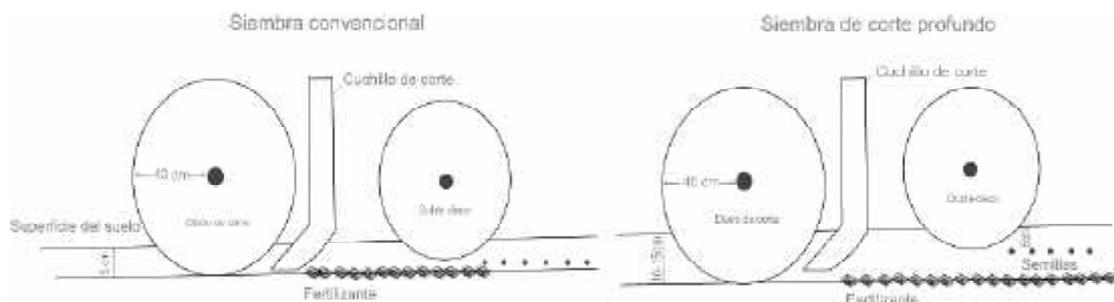
por **Shigehiko Yoshikawa;**  
**Jorge Riquelme Sanhueza;**  
**Nicasio Rodríguez Sánchez**

**Consultores Técnicos**  
*Paola Silva Candia, Ing. Agr. Mg.Sc.*  
*Juan Hirzel Campos, Ing. Agr. Mg.Sc.*

### I. INTRODUCCIÓN

La compactación del suelo afecta el crecimiento de los cultivos y el funcionamiento de las máquinas agrícolas. Esto no ocurre solamente en el secano interior de Chile, sino en todo el mundo, convirtiéndose en uno de los problemas del deterioro del suelo. La compactación y consolidación del suelo ocurre cuando el agua que infiltra lleva arcillas superficiales o hierros hacia estratos inferiores donde se aglomeran, formando una capa muy dura (capa de subsuelo), o cuando el suelo se compacta por el tránsito de maquinaria agrícola pesada, que forma una capa dura (capa compactada) en los estratos bajos. A nivel mundial, se considera actualmente

como principal causa de la compactación, el tránsito de la maquinaria agrícola (Raghavan *et al.*, 1977; Sánchez-Girón, 1996). En la siembra directa (SD) de soja, que se efectúa en Paraguay, que tiene más de 10 años de historia, algunas anomalías se han observado en la distribución de las raíces debido a la compactación del suelo, con lo que el rendimiento se ha visto afectado. Para corregir este problema, se usa una sembradora de cero labranza con un abresurco tipo cuchilla (**Figura 2.11**) el que efectúa una hendidura en el suelo de 10cm de profundidad y además deja más separada la semilla del fertilizante (Seki; Sato, 2002).



**Figura 2.11.** Diagrama esquemático que describe la profundidad de corte con un disco y una cuchilla añadido a una sembradora de cero labranza (Seki y Sato, 2002).

## II. COMPACTACIÓN DEL SUELO EN EL SECA-NO INTERIOR DE CHILE

La causa de la compactación del suelo en el secano interior de Chile es diferente, ya que se observan problemas de compactación del suelo aun en tierras agrícolas, donde por primera vez se efectúa cero labranza, por lo que no hay influencia previa del recorrido de maquinaria agrícola pesada.

Según los estudios de suelos efectuados en el secano interior de Chile (Comuna de Ninhue), alrededor del mes de noviembre, a fines de la primavera, el suelo se seca y en muchos lugares la tensión de humedad alcanza más de 15atm. Se trata de una estrata ubicada a más de 30cm de profundidad, cuyo suelo es seco y de coloración blanquecina. La densidad aparente es mayor de 1.5gr/cc.

Si se efectúa una prueba de infiltración con una muestra de suelo mediante un cilindro, se observa

el fenómeno de que la capa dura se hincha y se eleva. Esto significa que el suelo en la época de sequía se contrae por sequedad hasta el punto de cambiar la estructura de la parte de la capa dura y luego se hincha por la humedad del período de lluvias, éste ciclo se repite todos los años. De esta manera, en el secano interior de Chile, el proceso de compactación ocurre no sólo por el tránsito de la maquinaria sino por los cambios naturales de seco a húmedo.

También existen muchos lugares, donde la capa superficial del suelo tiene bajo contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es mayor en la capa subsuperficial que en la superficial, lo que demuestra la pérdida y acumulación de partículas arcillosas en las capas inferiores del suelo (**Cuadro 2.13**).

Cuadro 2.13. Características del suelo en el Secano Interior de Chile (Ninhue).

Nº de Horizonte	M.O. (%)	CIC (cmol/kg)	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Volumen de Poros (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
1	2.65	11.2	1.50	43.4	62.1	21.6	16.3
2	1.38	12.5	1.56	41.2	55.3	20.8	23.9
3	0.99	12.9	1.59	40.1	52.5	19.4	28.1
4	1.00	15.4	1.63	38.6	48.1	20.6	31.4

## III. MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN

Para determinar el grado de compactación de un suelo, se mide la resistencia a la penetración (RP) del suelo utilizando el penetrómetro de cono, que está compuesto de un cono de área de sección fija y un resorte (**Figura 2.12**). En este estudio se utili-

zó un penetrómetro marca YAMANAKA, cuyo valor indicador es la profundidad que se entierra el cono (mm), el que se relaciona paralelamente con la RP expresada en MPa/cm<sup>2</sup>.



Figura 2.12. Penetrómetros. Arriba: durómetro de suelo YAMANAKA. Abajo: registrador de penetración DAIKI.

En el **Cuadro 2.14** se muestra el valor estándar relativo a la dificultad de desarrollo de las raíces del cultivo y también la fórmula para convertir el índice de dureza del suelo en presión por sección de área unitaria. Este método es útil para efectuar mediciones de las secciones laterales de una calicata.

Otro penetrómetro es el “medidor de dureza” registrador de penetración (Marca DAIKI modelo SR-2), que registra la resistencia máxima a la penetración cada 5cm hasta una profundidad de 60cm. Este instrumento es apropiado para saber dónde se ubican las capas compactadas.

**Cuadro 2.14.** Índice de dureza del suelo obtenido con penetrómetro YAMANAKA.

Apreciación de la compactación del suelo	Índice de dureza X YAMANAKA (mm)	Resistencia a la penetración P (Mpa/cm <sup>2</sup> )*	Efecto en el desarrollo de las raíces
<b>Muy suelto</b>	0 – 10	0 – 0.14	Fácil
<b>Suelto</b>	11 – 18	0.15 – 0.46	Fácil
<b>Moderado</b>	19 – 24	0.47 – 1.16	Poco difícil
<b>Compactado</b>	25 – 28	1.17 – 2.43	Difícil
<b>Muy compactado</b>	>29	>2.44	Muy difícil

$$* P = (12.5 * S * X / 0.795 (40-X)^2) * 0.098 \text{ Mpa/cm}^2$$

Donde S = Constante que depende de la punta del instrumento, para este caso 8.0

X = Índice de dureza YAMANAKA (mm)

También, existe una máquina que mide las 3 fases del suelo (proporción en volumen de los componentes físicos del suelo: sólido, líquido y aire), recogido mediante un cilindro muestreador de 100cc (medidor trifásico del suelo), por medio del cual, se puede saber el grado de compactación, midiendo la densidad aparente (DA) o la porosidad del suelo. Se denomina porosidad al cociente entre el volumen de poros con agua y aire y el volumen total del suelo (Sánchez; Girón, 1996).

Se puede saber indirectamente el grado de compactación mediante los estudios de la sección del suelo, de la capacidad de infiltración del agua y del movimiento del agua en el suelo utilizando pintura blanca (**Figura 2.13**). Se vierte sobre un cilindro enterrado en el suelo un volumen de pintura blanca, cuando termina de infiltrar, se efectúa una calicata para determinar la forma de penetración de la pintura.



**Figura 2.13.** Método de la pintura blanca

#### IV. EFECTOS DE LA COMPACTACIÓN EN EL SUELO

La compactación del suelo, puede provocar los siguientes problemas:

- Mayor capacidad de arrastre de suelo superficial, debido a que la capacidad de infiltración del suelo se reduce. Por lo tanto existe una mayor posibilidad de ocasionar erosión del suelo.
- La capacidad de retención del agua se reduce debido a la menor porosidad del suelo.

- Se limita el crecimiento en profundidad de las raíces.
- Como resultado de la limitante anterior, la absorción de nutrientes desde el suelo se reduce.
- Afecta el buen funcionamiento de la maquinaria agrícola. Si el suelo está compactado, se limita la profundidad de siembra, por consiguiente las semillas quedan esparcidas o descubiertas (**Figura 2.14**).



Figura 2.14. Resultado de la siembra sobre distintas condiciones de suelo.

La **Figura 2.15** muestra los resultados de las mediciones de dureza de suelo, efectuada con penetrómetro DAIKI. En el caso de la sembradora

de tracción animal, los abresurcos no cortan el suelo y no puede realizarse la labor de siembra.

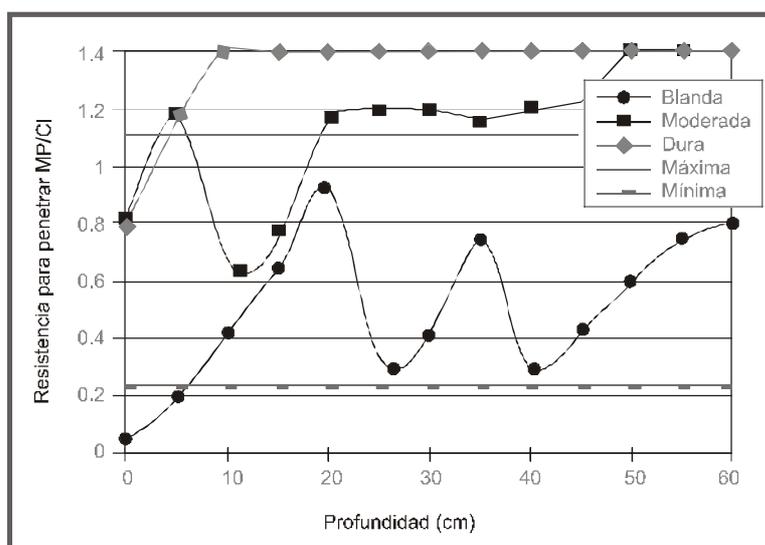


Figura 2.15. Resultado de las mediciones de dureza para las distintas condiciones del suelo.

El **Cuadro 2.15** muestra una referencia de la dureza del suelo, medidas con el penetrómetro DAIKI, junto con las recomendaciones para el uso de una

sembradora de cero labranza tirada por un tractor de tracción asistida de 90HP, en la siembra de cero labranza.

Cuadro 2.15. Recomendaciones para el trabajo de una máquina sembradora tirada por tractor en función de la resistencia del suelo.

Capa del suelo arable* (0-10/20cm)	Capa del subsuelo* (>10/20cm)	Trabajo de la sembradora tirada por tractor	Labores adicionales
Dura	Dura	No se debe trabajar. Se afecta la profundidad de siembra.	Cinzel o subsolador
Dura	Moderada	Se afecta la profundidad de la semilla.	Cinzel o subsolador
Moderada	Moderada/Blanda	Sembradora trabaja bien.	
Moderada	Blanda	Trabajar con cuidado. La semilla	Al girar en las cabeceras poner mucha atención
Blanda	Dura/Moderada	Trabajar con cuidado. La semilla queda muy profunda.	No trabajar suelos con pendiente
Blanda	Blanda	No se puede trabajar. Tractor y sembradora se entierran	

REF: Resistencia a la penetración (Mpa/cm2): Dura > 13; Moderada 3 – 13 y Blanda < 3.

El suelo demora cuatro días después de la lluvia en alcanzar la resistencia adecuada para ejecutar la labor de siembra (Figura 2.16).

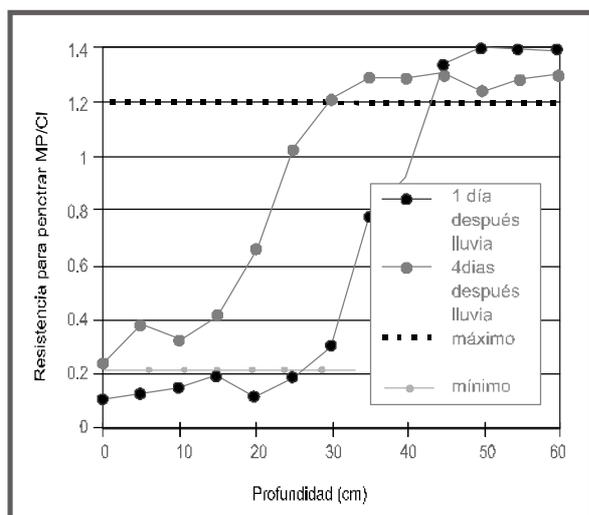


Figura 2.16. Cambios en la resistencia del suelo a la penetración después de la lluvia (San José, Ninhue, 2003).

El Cuadro 2.16 muestra el efecto del subsolado en el desarrollo y rendimiento del trigo, en mediciones realizadas en las Parcelas de Ensayos del Proyecto CADEPA (PECA). Cuando el suelo no se subsola, la extensión de las raíces se restringe y el crecimiento del trigo es malo. En cuanto a la asimilación de nutrientes, especialmente el azufre y micronutrientes que no son aportados como fertilizante, son menores en el suelo sin subsolar. Como resultado de todo esto el rendimiento del trigo es deficiente.

Cuadro 2.16. Efecto del subsolado en la asimilación de nutrientes y en el rendimiento del trigo. (San José, Ninhue, 2003).

Tratamiento Subsulado	N (%)*	S (%)*	Rendimiento (tt/ha)	Espigas (Nº/m²)	Nº de granos/espiga	Peso/mil granos
Sin	4.51±0.96	0.140±0.026	2.86±0.73	290±0.40	26.3±2.5	47.8±2.4
Con	3.14±0.19	0.187±0.029	3.60±0.55	298±0.32	31.7±2.3	49.5±0.5

REF: \* medido el 26 de agosto del 2003.

La Figura 2.17 muestra el daño producido por exceso de humedad en los cultivos de lentejas. Debido a la compactación del suelo, el agua no infiltra en épocas de lluvias, lo que impide el intercambio de aire dentro del suelo, produciendo insuficiencia

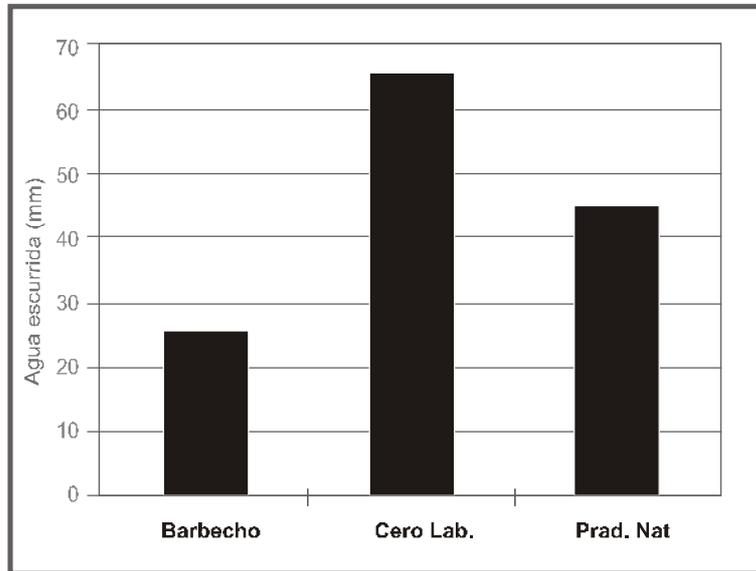
de oxígeno para las raíces de los plantas. Esto no sólo limita el crecimiento de las raíces, sino que impide la formación de nódulos, además se incrementan los daños producidos por hongos.



Figura 2.17. Daño por exceso de humedad en lentejas. (San José, Ninhue, 2003).

La **Figura 2.18** muestra los resultados de las mediciones de aguas escurridas, durante el año 2003, en las parcelas de evaluación de erosión con distintos tratamientos: pradera natural, cero labranza y labranza convencional. Aunque no muestra directamente la compactación del suelo, aparece una mayor cantidad de agua escurrida en la pradera natural y cero labranza que en el cultivo convencio-

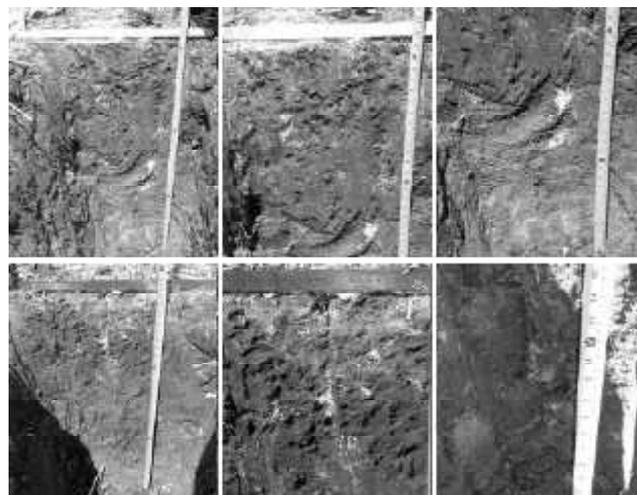
nal. Esto demuestra que el movimiento de suelo mejora la infiltración de agua, no obstante en estos mismos ensayos, la labranza convencional presentó la mayor pérdida de suelo. De acuerdo con esto el subsolado debe realizarse manteniendo rastrojos sobre el suelo, para evitar que el suelo sea disgregado por el impacto directo de la gota de lluvia y arrastrado por el agua que escurre.



**Figura 2.18.** Escorrimento de agua en las parcelas de evaluación de erosión. (PECA, 2003).

La **Figura 2.19** muestra la distribución de raíces y el recorrido del agua en el perfil del suelo, observados con el método de verter pintura blanca para saber las influencia del subsolado en el establecimiento del cultivo. Si se compara las fotos de la

parte media superior (subsolado) con la parte media inferior (sin subsolado), se observa que la pintura blanca se filtra en el suelo a través de las fisuras producidas por el subsolador.

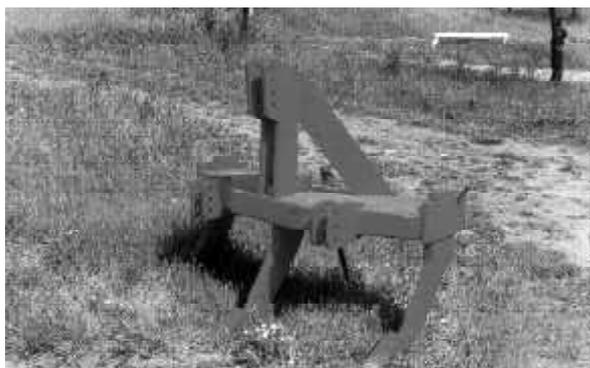


**Figura 2.19.** Observación del perfil del suelo con tinta blanca (PECA, 2002). Arriba: sin subsolado Abajo: con subsolado

## V. MEDIDAS PARA CORREGIR LA COMPACTACIÓN DEL SUELO

### SUBSOLADO DE SUELO

Con el arado subsolador se puede reducir la compactación del suelo. La **Figura 2.20** muestra un arado de tres brazos tipo parabólicos, cada uno de ellos rompe el suelo en un ancho de 60cm y hasta una profundidad máxima de 50cm. El ancho de trabajo total del equipo es de 1.8m. En su trabajo deja el suelo agrietado.



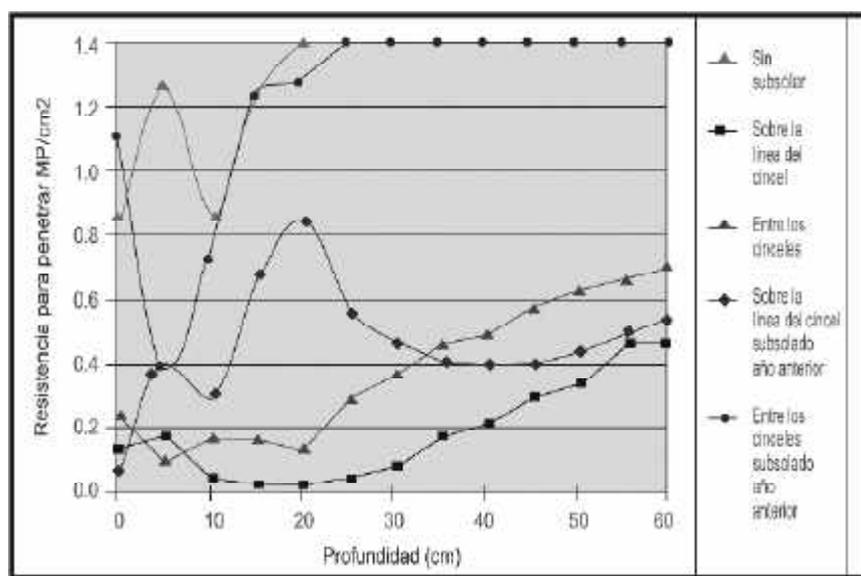
**Figura 2.20.** Arado subsolador tres brazos de enganche integral al tractor.

En la **Figura 2.21** se muestra el resultado de las mediciones de RP efectuadas con un penetrómetro DAIKI, en diferentes situaciones. La medición efectuada en el suelo sin subsolar, muestra que inmediatamente a los 5cm de profundidad existe una zona compactada con mayor RP, que en superficie y a

10cm de profundidad, luego a partir de los 20cm de profundidad el suelo presenta en todo su perfil la máxima RP. La medición efectuada inmediatamente después del subsolado sobre la línea de trabajo de un brazo, muestra una reducción de la RP en todo el perfil del suelo incluso más abajo de la profundidad de trabajo del subsolador (50cm).

La medición efectuada en la línea media del paso de dos brazos, también muestra un comportamiento similar, pero una RP mayor que el caso anterior, de todas maneras esto comprueba que existe un efecto lateral del trabajo de los brazos. La medición efectuada al año siguiente del subsolado sobre la línea de trabajo del brazo muestra que ya se ha producido un alza en la RP con respecto al primer año, su máximo valor de resistencia se presenta a los 20cm de profundidad. Lo que se podría atribuir al tránsito de la maquinaria o al comportamiento de las arcillas del suelo ya analizadas anteriormente. La medición entre los brazos realizada al año siguiente del subsolado muestra que el suelo a partir de los 15cm de profundidad ya ha recuperado su alta RP de un suelo sin subsolar.

Esto demuestra que el trabajo de subsolado debe ser acompañado de otras medidas de corrección que se muestran más adelante. Si se utiliza un arado cincel, para corregir la compactación, la profundidad de trabajo solo alcanza a los 15cm. Cuando se trabaja con el subsolador se forman terrones grandes en la superficie de la tierra, los que obstaculizan el trabajo de siembra, por ello es necesario reducir el tamaño de los terrones y empalear el suelo con el uso de un vibrocultivador.



**Figura 2.21.** Efecto del subsolado sobre la compactación del suelo (PECA, 2003).

Como el trabajo del subsolador, junto con el vibrocultivador, dejan el suelo descubierto, es posible que la erosión se incremente. Por ello se debe restringir el uso del subsolador a aquellos suelos que técnicamente requieran este tipo de trabajo. En especial se debe tener cuidado de no mullir demasiado los terrones con el vibrocultivador.

Por otro lado, como el tratamiento con subsolador puede aumentar la capacidad de drenaje del suelo durante las lluvias, es deseable que la dirección del tratamiento no sea totalmente perpendicular sino con una pequeña pendiente del 3 por mil, para que ayude a evacuar los excesos de agua a modo de zanjas de desviación.

Para iniciar el sistema de cero labranza es conveniente efectuar el subsolado, debido a la falta de la estructura del suelo, pero a medida que se continúe sembrando con cero labranza, la estructura del suelo tenderá a mejorar por la acción de las raíces de las plantas, acumulaciones de materias orgánicas en el suelo superficial, y actividades de la fauna del suelo, no requiriéndose de esta manera el uso del subsolador. Algunos expertos estiman que cada

6 años sería necesario volver a subsolar el suelo. En el sistema de cero labranza lo más importante es promover el desarrollo de la estructura del suelo para que no se requiera utilizar el subsolador.

#### UTILIZACIÓN DE PLANTAS DE RAÍZ PROFUNDA

Durante el período del barbecho se pueden sembrar plantas de raíz profunda como lupino, cuyas raíces se extienden profundamente y cuando ellas se pudren dejan espacios porosos (**Figura 2.22**). La estructura del suelo llega hasta la profundidad gracias al suministro de materias orgánicas a las capas profundas y de esta manera se puede resolver la compactación del suelo. La desintegración de las capas compactadas por el subsolador es muy efectiva pero artificial y transitoria y por otro lado, la eliminación de las capas compactadas mediante el buen uso de plantas de raíz profunda es lenta, pero se puede esperar efectos estables junto con la combinación de actividades de la fauna del suelo como lombrices. La **Figura 2.23** muestra el efecto en el mejoramiento de la infiltración del agua mediante el método del vaciado de pintura blanca, en un suelo manejado con lupino.



Figura 2.22. Raíz de Lupino. (San José, Ninhue).

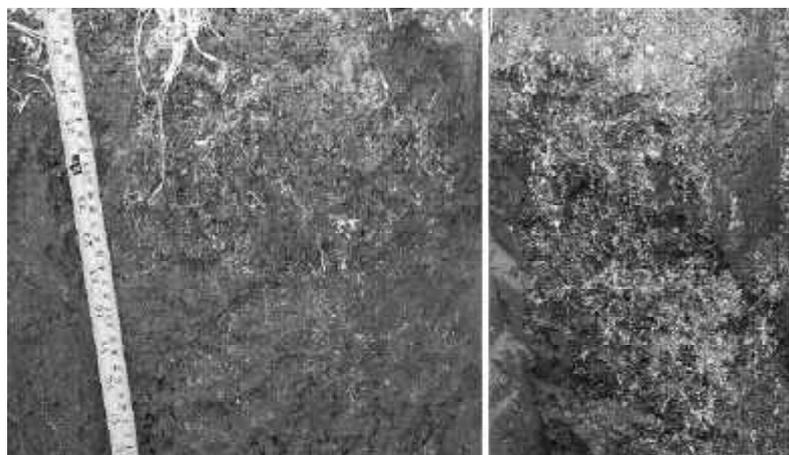


Figura 2.23. Observación del perfil de suelo mediante el método de vaciado de pintura blanca (San José, Ninhue, 2002). Izquierda sin Lupino. Derecha con Lupino.

## FAUNA DEL SUELO

La fauna del suelo como lombrices forman galerías en el suelo y sus heces se convierten en agregados estables, con lo cual se mejoran las capas compactadas. Pero, para que habite esta fauna, se requiere la existencia de materia orgánica, que es alimento y la humedad adecuada del suelo (**Figura 2.24**).



Figura 2.24. Lombriz y su huevo

## COBERTURA DE LA SUPERFICIE DEL SUELO

La cobertura de la superficie del suelo por plantas y sus restos previene la evaporación del agua del suelo y por consiguiente, la compactación del suelo debido a la contracción por sequedad. También esta cobertura tiene el efecto de aminorar el impacto de las gotas de lluvia y prevenir la generación de costras en la superficie del suelo por partículas del suelo disgregadas. Esta costra, que es una capa dura de un espesor de 5mm, producida por partículas del suelo disgregadas, causa desórdenes en la germinación de semillas, pudrición de tallos alrededor de las raíces e impedimento de la entrada del aire al suelo. La cobertura es muy efectiva para el suministro de materia orgánica a la superficie del suelo y para la formación de agregados (**Figura 2.25**).



Figura 2.25. Cobertura de la superficie del suelo con rastrojos. (Chequén, Florida)

## FUTURO DE LAS MEDIDAS CONTRA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO

Considerando las medidas contra la compactación del suelo dentro del sistema de cero labranza que se recomiendan para impedir la erosión en el cultivo de cereales en el secano interior, la estructura del suelo, incluyendo el problema de compactación, mejoraran anualmente a medida que continúe la cero labranza. El sistema de la cero labranza tiene la perspectiva futura de formar una estructura estable de agregados en el suelo, por ende un suelo con buena capacidad de drenaje y de retención de humedad, menor erosión y alta productividad de cultivos, por medio del desarrollo de las raíces de los cultivos, la acumulación de materia orgánica en la capa superficial y las actividades de la fauna del suelo como lombrices.

Lo importante es llevar a cabo integralmente todas las medidas antes mencionadas según las características del suelo y cambiar lo más rápido posible a un suelo que tenga desarrollada su estructura. La **Figura 2.26** y el **Cuadro 2.17** muestran la comparación de un suelo con más de 20 años de cero labranza en forma continua, fundo Chequén de don Carlos Crovetto en Florida, con el suelo de San José en Ninhue, que ha cambiado a cero labranza recientemente, en cuanto a las características físicas y químicas y la composición de la porosidad. Llama la atención la disminución en la densidad aparente, el incremento de la materia orgánica y el fósforo después de 20 años de cero labranza.

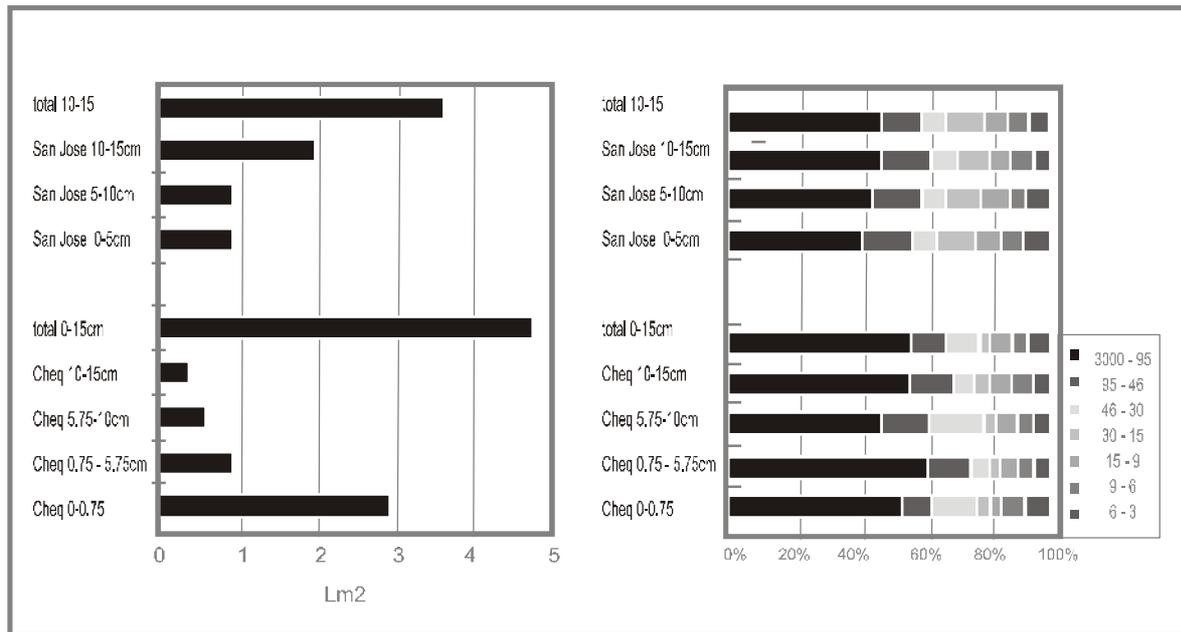


Figura 2.26. Comparación de la porosidad de un suelo manejado con cero labranza durante 20 años y un suelo con un año de cero labranza (Chequen Florida y San José Ninhue).

Cuadro 2.17. Comparación de la fertilidad de un suelo manejado con cero labranza durante 20 años y un suelo con un año de cero labranza (Chequén y San José, 2003).

	Profundidad (cm)	Densidad aparente	Sólido (%)	Gas (%)	Líquido (%)	Porosidad (%)
<b>San José (subsulado)</b>	0-5	1.6	59.4	32.6	8.1	40.7
	10-15	1.5	54.8	26.9	18.4	45.3
<b>Chequen (cero labranza más de 20 años)</b>	0-0.75	1.2	45.8	30.1	24.1	54.2
	0.75-5.75	1.4	53.3	21.5	25.2	46.7
	10-15	1.7	64.6	7.7	27.9	35.6
	Profundidad (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	CIC (cmol/kg)	MO (%)	N (ppm)	P (ppm)
<b>San José</b>	0-11	6.5	13.5	1.7	13	2
	11-25	6.6	17.8	1.1	11	1
	25	6.8	14.0	0.6	16	1
<b>Chequen (cero labranza más de 20 años)</b>	0-7	6.7	30.9	13.4	24	119
	7-13	6.4	14.6	4.6	10	58
	13	6.3	14.3	3.4	7	16

Los suelos donde se cultiva trigo en la Comuna de Ninhue del secano interior son principalmente; suelo arenoso pardo amarillento (suelo granítico), suelo rojo (ultisol) y suelo pardo negruzco (suelo arcilloso aluvial). El suelo arenoso pardo amarillento tiene relativamente buena infiltración, es fácil de disgregar y su erodabilidad es alta, por consiguiente es importante tanto la limitación del uso del subsolador, en especial el vibrocultivador, como la cobertura de la superficie de la tierra. El suelo rojo es apropiado para ejecutar labores de subsolado. El suelo pardo negruzco es arcilloso y de alta contracción, agrietándose grande y profundamente en el período de sequía. El tratamiento con subsolador es necesario para el drenaje en la temporada de lluvia, pero no tiene efecto para el rompimiento de las capas compactadas. Es un tipo de suelo del que se puede esperar un buen comportamiento de los cultivos de raíz profunda, como el lupino, para la formación una estructura estable de agregados.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- RAGHAVAN, G.; MCKEYS, E.; STEMHORN, E.; GRAY, A. and BEAULIEU. 1977. *Vehicle compaction patterns in clay y soil*. Transactions ASAE, 20(2):218-220,225.
- SÁNCHEZ-GIRÓN, V. 1996. *Dinámica y Mecánica e Suelos*. Ediciones Agrotécnicas, S.L. Madrid. 426p.
- SEKI, Y. and SATO, O. 2002. *Slit-sowing Effects on Soybean Root Distribution in No-tillage Fields of Paraguay*. Japanese Journal of Tropical Agriculture, v.46. pp.290-294.



# PROBLEMAS DE RELACIÓN SEMBRADORA - SUELO EN SISTEMAS DE SIEMBRA DIRECTA EN URUGUAY

*por Enrique Pérez-Gomar;  
José A. Terra  
INIA Uruguay*

## I. INTRODUCCIÓN

En la última década la siembra directa (SD) se ha consolidado en los diversos sistemas productivos de Uruguay. La tecnología de SD es utilizada actualmente en aproximadamente el 60% del área de cultivos de secano, el 50% del área destinada a los sistemas lecheros y en casi la totalidad del área sembrada con pasturas anualmente. Sin embargo, en muchos de estos casos la SD no es utilizada aún en forma sistemática y permanente. El menor grado de adopción de la SD en el país se presenta en los sistemas arroceros-ganaderos y particularmente en el cultivo de arroz.

Los suelos sobre los cuales se desarrollan los cultivos agrícolas y forrajeros corresponden mayoritariamente a Molisoles y Vertisoles que presentan como particularidad la presencia de altos contenidos de arcillas expansivas (tipo 2:1). Debido a esto, desde el punto de vista físico, las variaciones en el contenido de agua en el suelo determinan variaciones en su consistencia, siendo muy resistentes a

presiones a bajos contenidos de agua y muy susceptibles a compactarse con altos contenidos de humedad (Horn *et al.*, 1995). En el **Cuadro 2.18** se muestran las características del horizonte superficial de algunos suelos típicos en los que se desarrollan los sistemas productivos del Uruguay.

En especial, en este tipo de suelos, el tráfico de maquinaria agrícola (Silva *et al.*, 2000) y el pisoteo animal (Proffitt *et al.*, 1995), en condiciones de consistencia plástica, provocan deformación y compactación, que se traduce en aumento de la densidad aparente (DA), reducción de la porosidad total y especialmente la macroporosidad (Hakanson, Lipiek, 2000). Esas alteraciones repercuten negativamente en el proceso de intercambio gaseoso del suelo (Letey, 1985), en el aumento de la resistencia a la penetración y por consiguiente en la performance de las sembradoras y en el desarrollo radicular de los cultivos.

**Cuadro 2.18.** Características granulométricas, contenido de Carbono Orgánico (C Org.) e indicadores de fertilidad del horizonte A de suelos representativos de los diferentes sistemas productivos del Uruguay.

Sistema productivo	Profundidad cm	Arena g/kg	Limo g/kg	Arcilla g/kg	C Org g/kg	CIC meq/100g	BT
Agrícola	25	22	40	38	4.0	37	35
Lechero	22	12	60	28	2.4	23	17
Ganadero-Agrícola	25	39	40	21	2.2	16	10
Ganadero	18	33	52	15	3.2	20	14
Arrocero-Ganadero	20	7	36	57	5.0	57	48
Arrocero	20	15	60	25	2.0	14	10

Fuente: MGAP, Compendio actualizado de suelos del Uruguay.

La mayor parte de las sembradoras utilizadas en los sistemas productivos del Uruguay son de origen regional, brasileño o argentinas. En general, estas máquinas presentan dispositivos de abresurco de discos (dobles discos desfasados y triples discos) y cumplen con varios de los requerimientos básicos para un buen desempeño de las mismas (Augsburger, 1998). El mismo autor destaca entre otros, la adaptación a la siembra de diferentes tipos de cultivos, a diferentes tipos de suelos, diferentes volúmenes y tipos de rastrojo, profundidad de siembra uniforme, perturbación mínima del suelo. También, aunque en menor número existen sembradoras en el país con abresurcos de tipo facón o zapata, que determinan mayor remoción del suelo y demandan mayor tracción.

Sin embargo, después de más de una década de la introducción de los primeros equipos de SD al país, siguen existiendo algunos inconvenientes en el funcionamiento y la calidad de siembra de los equipos. Las principales restricciones que enfrentan las sembradoras de SD en los sistemas productivos del Uruguay están generalmente asociadas de una u otra manera a efectos de la compactación del suelo, las irregularidades del terreno (microrelieve) y a los rastrojos en superficie. En el **Cuadro 2.19** se resume la incidencia de estos factores en el desempeño de las sembradoras para los sistemas productivos predominantes del país.

**Cuadro 2.19.** Incidencia de los principales factores que restringen la performance de las sembradoras de siembra directa en los sistemas productivos predominantes del Uruguay.

Sistema productivo	Compactación	Residuos	Microrelieve
Agrícola	Medio	Altos *	Medio-Bajo
Agrícola-Ganadero	Medio-Alta	Bajo-Medios	Medio
Lechero	Alta	Bajos	Medio-Alto
Ganadero	Medio-Bajo	Medio-Bajos	Medio
Arroz-Ganadería	Alta	Bajos	Alto

\* Nivel de residuos en relación a los otros sistemas

Los sistemas agrícolas del Uruguay se han caracterizado en las últimas 4 décadas por la rotación de cultivos y pasturas, en los que la ganadería presenta un rol relevante en la sostenibilidad económica y productiva de los mismos. Si bien los sistemas que incluyen la rotación de cultivos con pasturas aseguran la conservación del suelo en el largo plazo en términos de reducción de la erosión y mantenimiento de los niveles de C orgánico, esto determina que en la etapa de utilización de la pastura mediante pastoreo directo, los animales provoquen una

compactación adicional a la generada en la etapa agrícola. Los efectos de la compactación animal en las rotaciones agrícola-ganaderas se agudizan cuando se utilizan las pasturas en condiciones de altos contenidos de humedad en el suelo. Por otra parte, la invasión de *Cynodon dactylon* en los últimos años de las pasturas en general dificultan el buen funcionamiento de las sembradoras al inicio de la fase agrícola de la rotación. El control del largo o período de barbecho químico al momento de regresar a la fase agrícola de la rotación es un aspecto funda-

mental para manejar estas restricciones. Diversos trabajos han encontrado que la resistencia a la penetración en la capa superficial del suelo disminuye cuando el tiempo de barbecho aumenta desde unas pocas semanas a un par de meses desde la aplicación del herbicida. Otro factor de indudable importancia, mucho menos estudiado, es la capacidad del suelo de regenerar estructura o “resiliencia” una vez que es sometido al pisoteo animal.

En los últimos años, la agricultura uruguaya ha tenido importantes cambios asociados entre otros a la generalización de la tecnología de SD, a la aparición de cultivos transgénicos, al alza de los precios internacionales de algunos granos y a la crisis financiera de 2002. Similar a lo ocurrido en el resto de la región, la frontera agrícola se ha expandido rápidamente, los cultivos de verano, fundamentalmente la soja, pasaron a predominar sobre los de invierno y la fase de pasturas se ha acortado o en algunos casos eliminado de las rotaciones. El principal motor de esta expansión esta dado por la aplicación del paquete tecnológico asociado al cultivo de soja (siembra directa – uso de transgénicos), lo que ha determinado un nuevo escenario en la cual los sistemas agrícolas puros comienzan a tener su repercusión en el área tradicionalmente agrícola-ganadera. Adicionalmente, este incremento del área de cultivos agrícolas ocurrido en los últimos años ha determinado que la frontera agrícola se haya expandido a regiones del país con suelos de menor capacidad de uso agrícola.

El predominio del cultivo de la soja en la rotación respecto a otros cultivos cerealeros y a las pasturas en los sistemas productivos reduce claramente el aporte de residuos al suelo y por tanto aumenta la vulnerabilidad a los procesos erosivos y a la pérdida de carbono orgánico del suelo si esta tendencia se mantiene en el mediano y largo plazo. En este sentido, Clérico *et al.* (2004), utilizando el modelo Century, determinaron que el monocultivo de soja en dos suelos de textura contrastante, aun en condiciones de SD, conduce a pérdidas de C orgánico en el largo plazo. Los mismos autores encontraron que la inclusión de pasturas en la rotación aumenta el contenido de C orgánico en un suelo franco y mantiene los niveles de C orgánico en un Vertisol de alta fertilidad.

Con esta expansión agrícola, los efectos de la compactación de suelo pueden verse agravados por el tráfico de maquinaria en los diferentes momentos, siembra-cosecha y por la reducción del aporte de residuos al suelo debido a la gran frecuencia del cultivo de soja en la rotación. La falta de rastrojos en superficie y la pérdida de C orgánico del suelo pueden aumentar las restricciones a las sembradoras asociadas a la compactación y al microrelieve causado por el tráfico de maquinaria además de menor conservación del agua en el suelo.

A medida que la producción animal se intensifica pasando de la ganadería a la lechería, los problemas de compactación superficial del suelo se incrementan. En estos sistemas los animales consumen la mayor parte de la biomasa (pastoreo directo, silo, heno); el retorno de restos vegetales al suelo es menor y se reducen algunos de los beneficios que aporta una abundante masa de residuos sobre la superficie (riesgo de erosión, dinámica del agua y materia orgánica al sistema). Por otro lado los animales provocan compactación del suelo, provocan microrelieve por desplazamiento laterales en las zonas pisoteadas cuando el suelo está con contenidos de agua en el límite superior de plasticidad y podrían existir mayores restricciones físicas para las plantas instaladas o a instalar. Los efectos de los animales sobre la compactación del suelo, el microrelieve y los volúmenes de rastrojos están relacionados a algunos aspectos de manejo fundamentales como; las condiciones de humedad del suelo durante el pastoreo, la carga animal por unidad de superficie, el tiempo de pastoreo y la categoría animal entre otros (Terra, García-Préchac, 2001). Trabajos realizados en INIA-La Estanzuela han mostrado que el uso de subsolador es una buena herramienta para mitigar los efectos negativos de las restricciones físicas causada por maquinaria o animales durante la etapa de pasturas (Martino, 2001). El uso de diversos tipos de subsoladores previo a la siembra y el uso de sembradoras, ambos equipados con sistemas GPS-RTK de guía de alta precisión, capaces de poner la semilla en la misma línea subsolada, es un importante adelanto tecnológico que se esta usando en forma creciente en el mundo desarrollado para la minimización de las restricciones físicas impuestas por la compactación de suelo.

En la rotación arroz-pasturas los mayores disturbios en el suelo son provocados durante la etapa agrícola (arroz), por ser un cultivo manejado en inundación que normalmente se cosecha con altos contenidos de agua en el suelo. Pérez Gomar *et al.* (2002), presenta resultados de deformación de la superficie del suelo hasta los 18cm de profundidad cuando la cosecha es realizada con cosechadoras de rodado común. Tales efectos son minimizados cuando la presión sobre la superficie del suelo es reducida mediante el uso de bandas en la cosecha. Las irregularidades de la superficie que quedan después de la cosecha cuando la misma es realizada en condiciones de exceso hídrico y la necesidad de contar con una superficie nivelada para el manejo del riego, dificultan o hacen prácticamente imposible la continuidad de un sistema de SD permanente. Por tanto, lo que se conoce como SD en arroz, corresponde en su gran mayoría a situaciones de siembra de arroz sobre raigrás sembrado después del laboreo y nivelación de verano con 5-6 meses de anticipación (Méndez *et al.*, 2001). En las situaciones que se realiza SD en estas condiciones, los

efectos de deformación de la superficie provocada por el pisoteo animal en el invierno, necesariamente deben ser minimizados previo a la siembra con el uso de "land plane" para mejorar las condiciones de riego posteriores. En la cuenca arroceras tradicional del Este del país, las mayores restricciones que enfrentan las sembradoras de SD están asociados a la desuniformidad del terreno causado por el pisoteo animal, a los obstáculos que representan las tapias realizadas en forma anticipada en el otoño, a la falta de rastreo, al largo de barbecho inadecuado y a la menor calidad física de estos suelos comparados con los de otras zonas agrícolas.

Muchos de los problemas mencionados son el resultado del inadecuado uso de los equipos, ya sea por condiciones extremas de contenido de agua en el suelo, falta de nivelación de la superficie del terreno, exceso o escasez de rastreo o excesiva compactación causada por tráfico o pisoteo animal con altas cargas. Los mismos principios básicos del comportamiento físico del suelo y su relación con el contenido de agua, que eran considerados con laboreo convencional deben ser respetados en SD. La intensificación de la producción ya sea agrícola o ganadera deberá ser cada vez más cuidadosa y deberá no dejar de considerar la sostenibilidad del recurso suelo. No obstante, a nivel productivo la realidad económica es la que manda, por tanto los agricultores no siempre cuentan con el tiempo o facilidades para realizar sus labores en estas condiciones adecuadas o de seleccionar la mejor rotación para mantener niveles de residuos en superficie adecuados y estables. Por tanto, si bien las sembradoras de SD han tenido importantes avances tecnológicos en los últimos años, el desafío de la industria de maquinaria agrícola es adecuarse y adelantarse a estos nuevos y cambiantes ambientes de producción, guiados fundamentalmente por aspectos económicos de corto y mediano plazo. Por último, cabe agregar que en los últimos años, el desarrollo de la agricultura de precisión y de sus herramientas abre nuevas puertas y desafíos a la investigación agronómica y a la industria en el desarrollo de sembradoras y sistemas inteligentes que se adapten a la siembra de cultivos en condiciones que generalmente son de alta variabilidad espacial y temporal del terreno.

## II. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGSBURGER, H.K.M. 1998. *Maquinaria para siembra directa en sistemas agrícola ganaderos*. INIA, Serie Técnica 99.
- CLÉRICI, C.; BAETHGEN, W. y GARCÍA-PRÉCHAC, F.; HILL, M. 2004. *Estimación del impacto de la soja sobre erosión y c orgánico en suelos agrícolas del Uruguay*. In: XIX Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Paraná-Entre Ríos.
- HAKANSON, I. and LIEPEC, J. 2000. *A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction*. Soil & Till. Res., 53: 71-85.
- HILLEL, D. 1998. *Environmental soil physics*. Massachusetts, USA. 771p.
- HORN, R.; DOMZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWITCZ, A. and VAN OWERKERK, C. 1995. *Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment*. Soil & Till. Res, 35: 23-36.
- LETEY, J. 1985. *Relationship between soil physical properties and crop production*. Adv. Soil Sci., 1:277-294.
- MARTINO, D.L. 2001. *Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa*. In: Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR. pp.225-257.
- MÉNDEZ, R.; DEAMBROSI, E.; BLANCO, P.; SALDAIN, N.; PÉREZ DE VIDA, F.; GAGGERO, G.; LAVECCHIA, A.; MÉNDEZ, J. y MARCHESI, C. 2001. *Reducción de laboreo y siembra directa en el cultivo de arroz*. INIA Serie Técnica 122.
- PEREZ-GOMAR, E.; REICHERT, J.M. e REINERT, D.J. 2005. *Resistência à penetração de Vertissolo a diferentes umidades e uso do solo*. In: Simposio Binacional-Impacto de la Intensificación Agrícola en el recurso Suelo. Primera Reunión Uruguaya de la Ciencia del Suelo. En CD.
- PROFFITT, A.P.B.; BENDOTTI, S. and Mc GARRY, D. 1995. *A comparison between continuous and controlled grazing on a red duplex soil. I. Effects on soil physical characteristics*. Soil & Till. Res, 35: 199-210.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. e REICHERT, J.M. 2000. *Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo*. Ciência Rural, Santa Maria, RS. v.30. n.5. pp.785-801.
- TERRA, J. y GARCÍA-PRÉCHAC, F. 2001. *Siembra directa y rotaciones forrajeras en las lomadas del Este*. Síntesis 1995-2000. INIA, Serie Técnica 125.

MINISTERIO DE ASUNTOS CAMPESINOS Y AGROPECURIOS,  
VICEMINISTERIO DE ASUNTOS AGROPECURIOS Y RIEGO

“POLÍTICA Y PLAN NACIONAL DE APROVECHAMIENTO  
Y MANEJO DE SUELOS”

*por Miguel Murillo Ilanes*

## I. INTRODUCCIÓN

El Gobierno de Bolivia a través del Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (MACA) en el año 2003, ha consensuado y aprobado la Política y el Plan Nacional de Aprovechamiento y Manejo de Suelos, con el propósito de aumentar la capacidad productiva de los suelos agropecuarios y forestales a través de un sistema integrado de acciones para prevenir, controlar, rehabilitar las propiedades de los suelos y mitigar los efectos de la erosión y degradación del recurso, con la participación de todos los actores involucrados a fin de contribuir a mejorar la capacidad productiva de los agricultores del país.

Para la implementación de estos instrumentos de desarrollo, se ha desplegado luego una amplia agenda de trabajo a nivel de las eco regiones (Altiplano, Valles, Chaco, Trópico y Amazonía) con la participación (asignación de derechos y responsabilidades) de los productores y organismos sectoriales, que están conllevando al fortalecimiento de las instancias nacionales encargadas del recurso, así como también está promoviendo el desarrollo propositivo de las instancias demandantes o beneficiarias, es decir, de los productores agropecuarios y del país en su conjunto. En la actualidad, varias instituciones públicas (Ministerios, Prefecturas, y Universidades) y privadas

(ONG's y Organizaciones de productores), se han involucrado en este proceso.

Destacamos resultados tales como:

- Ampliación de la cartera de proyectos con fondos públicos.
- Flexibilización de parámetros para formulación de proyectos y facilitar los procesos de elaboración y evaluación de los mismos.
- Universidades e instituciones de investigación han asumido los lineamientos de investigación.
- Sistematización de experiencias institucionales sobre tecnologías locales.
- Promoción de un cambio de actitud de los involucrados.
- Capacitación de técnicos de municipios e instituciones vinculados en formulación de proyectos.
- Involucramiento de entidades privadas y públicas, la cooperación internacional y la participación de los productores para desarrollar trabajos que brinden soluciones a problemas presentados en los procesos de producción agropecuaria.
- Municipios han formulado proyectos de aprovechamiento y manejo del suelo y agua.

Entre los documentos publicados se destaca “Prácticas de manejo de suelos técnicamente factibles para su aplicación en la región oriental del país”.

## II. LA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA EN BOLIVIA

El aprovechamiento y manejo del suelo y del agua para el sector agropecuario y forestal en Bolivia requiere el uso de implementos y equipos mecanizados a tracción animal y/o motriz. En esta línea es importante reconocer dos macro regiones: la Oriental y la Occidental, entre estas es preciso especificar lo siguiente:

- En la Región Oriental, el uso del suelo agrícola, es de tipo extensivo, orientado a la agroexportación; mientras que en el uso del agua para fines productivos agropecuarios, específicamente riego, existen avances importantes y recientes sobre el riego mecanizado en aproximadamente 2000 has, con tendencia a lograr unas 500.000 has potenciales. En esta región, la actividad agropecuaria es de tipo empresarial, con posibilidades de acceso a tecnología y renovación de sus equipos mecanizados.
- En la Región Occidental, el uso del suelo agrícola es más intensivo, producción orientada al abastecimiento de mercados locales y seguridad alimentaria; mientras que el uso de agua para riego en su mayoría, es por gravedad (270.000 has), siendo muy reciente la incursión al riego tecnificado, existiendo un potencial de 1.000.000 de has para hacerlo. En esta región, la actividad agropecuaria es de tipo minifundio y de carácter asociativo, normalmente desvinculada de facilidad de asistencia técnica y desprovista de capacidades de acceso a renovación de sus equipos e implementos.

Por la importancia del tema y la creciente demanda de los productores, en cuanto al acceso a tecnología, asistencia técnica y crédito para la renovación de implementos y equipos para aprovechamiento y manejo del suelo y agua, sean con tracción animal o motriz; es que el Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios ha incorporado la atención al tema en la Estrategia Nacional de Desarrollo Agropecuarios y Rural, misma que se efectiviza a través del Programa de Mecanización del Agro y la Política y Plan Nacional, de Suelos y Riego.

## III. LA MECANIZACIÓN EN LA AGRICULTURA DE EXTENSIÓN

La diversidad geográfica boliviana ha dispuesto también formas productivas agropecuarias disímiles, tanto así, que el oriente obedece al despegue agrícola en rubros industriales, habida cuenta del uso de los suelos de forma extensiva, de gran escala. Ello conlleva rasgos de mayor concentración en mano de obra y maquinaria y equipo agrícolas, al margen de los insumos dispuestos a tal efecto. Esta realidad se observa con las cifras estadísticas que hacen a la producción, superficie cultivada y rendimientos alcanzados.

Considerando la campaña agrícola última, 2003-2004, la superficie total nacional es de 2.118.988 has cultivadas, en tanto que la producción agrícola es del orden de las 11.540.966 toneladas métricas\* (Cuadro 2.20). Tomando en cuenta los rubros de cultivos, alrededor del 45% de la superficie cultivada corresponde a los industriales, seguido de los cereales con el 32%. El restante 23% lo capitalizan los tubérculos, forrajes, hortalizas, frutas y estimulantes, en ese orden de prelación. En el grupo de productos industriales se consignan la soya, caña de azúcar, algodón, girasol y maní.

Cuadro 2.20. Bolivia: superficie, producción por grupo de cultivos, según campañas agrícolas 2002/2003 y 2003/2004.

Cultivos	Superficie (ha)		Producción (ttm)	
	2002/03	2003/04 p	2002/03	2003/04 p
Cereales	748430	745019	1495240	1288842
Estimulantes	25304	25337	24545	24825
Frutas	99934	100871	915877	925470
Hortalizas	112788	112602	392726	395514
Industriales	785367	826888	6860604	7333447
Tubérculos	167968	164228	1176392	1145092
Forrajes	145165	144043	441494	427776
<b>Total</b>	<b>2084956</b>	<b>2118988</b>	<b>11306877</b>	<b>11540966</b>

Fuente: En base información de la Unidad de Seguimiento y Evaluación, MACA. REF: p: Preliminar.

\* 1 ttm = 1000 Kg

En lo que se refiere a la producción, en la siembra de 826.888 hectáreas se obtuvo una producción de 7.333.447 ttm de industriales, 1.288.842 ttm de cereales y 1.145.092 ttm de tubérculos. El resto de la producción agrícola de la campaña mencionada, corresponden a frutas, forrajes, hortalizas y estimulantes, en ese orden (**Cuadro 2.20**).

El **Cuadro 2.21** hace un recuento la superficie cultivada respecto de los departamentos, según campaña agrícola. En el mismo se puede observar que el departamento de Santa Cruz, absorbe el 56% del total de la superficie cultivada a nivel nacional, de la cual la mayor parte la utiliza para productos incorporados en el grupo de los industriales.

**Cuadro 2.21.** Bolivia: superficie cultivada, variación y estructura por departamentos, según campañas agrícolas 2002/2003 y 2003/2004.

Departamentos	Superficie (ha)		Variación (%)	Estructura 2004 (%)
	2002/03	2003/04 p		
Chuquisaca	177046	174656	-1.35	8.24
La Paz	230908	223966	-3.01	10.57
Cochabamba	220019	209094	-4.97	9.87
Oruro	65760	65894	0.20	3.11
Potosí	121874	114176	-6.32	5.39
Tarija	86629	87002	0.43	4.11
Santa Cruz	1129973	1190950	5.40	56.20
Beni	36820	37150	0.90	1.75
Pando	15927	16100	1.09	0.76
<b>Total</b>	<b>2084956</b>	<b>2118988</b>	<b>1.63</b>	<b>100</b>

Fuente: En base información de la Unidad de Seguimiento y Evaluación, MACA.  
REF: p: Preliminar.

La mayor producción agrícola de la denominada región oriental del país se concentra en el departamento de Santa Cruz, no solamente por la superficie cultivada sino también por la gama de productos, incluido aquellos del rubro industrial. Así,

anota la campaña agrícola analizada a nivel nacional 2003/04, se observa que en el nivel departamental cruceño, la superficie cultivada suma las 1.190.950 hectáreas con una producción de 8.056.710 ttm (**Cuadro 2.22**)

**Cuadro 2.22.** Santa Cruz: superficie, producción y rendimiento agrícola por cultivo, según campañas agrícolas 2002/2003 y 2003/2004.

Cultivos	Superficie (ha)		Producción (ttm)	
	2002/03	2003/04 p	2002/03	2003/04 p
Cereales	300915	316420	985753	807932
Estimulantes	455	460	414	421
Frutas	16768	17155	161020	162876
Hortalizas	35810	36275	188166	191598
Industriales	751045	792600	6143919	6613838
Algodón	4500	9500	1568	6365
Caña de azúcar	89500	95000	4475000	4940000
Girasol 2	133000	83000	92000	95000
Maní	3045	3100	3368	3435
Soja 1	521000	602000	1571983	1569038
Tubérculos	24550	27600	267086	278207
Forrajes	430	440	1782	1838
<b>Total</b>	<b>1129973</b>	<b>1190950</b>	<b>7748139</b>	<b>8056710</b>

Fuente: En base información de la Unidad de Seguimiento y Evaluación, MACA.  
REF: p: Preliminar; 1: incluye campaña de verano e invierno; 2: corresponde a campaña de invierno.

Ahora bien, de este total departamental de superficie cultivada en la campaña agrícola 2003/04, se tiene que alrededor del 67% está destinada a la siembra de productos industriales, en los que se destaca la soja, que denota una superficie de 602.000 has y 1.569.038 ttm, haciendo un rendimiento de 2.596 kg/ha. Son estos productos que en el proceso productivo hacen uso intensivo de capital, o sea, altamente mecanizados y de SD en el mayor de los casos (**Cuadro 2.22**).

#### **IV. LA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA EN ZONAS DE LADERA DE BOLIVIA**

##### *EL PROYECTO CIFEMA*

*Vladimir Plata - Técnico investigador  
Proyecto PROMETA-INNOVA  
Leonardo Zambrana - Coordinador  
Proyecto PROMETA-CIFEMA*

CIFEMA (Centro de Investigación, Formación y Extensión en Mecanización Agrícola) es un "Centro Universitario de Excelencia", y como tal, es considerado como un referente a nivel nacional, en lo concerniente a la mecanización agrícola. Depende de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Simón, con sede en el Departamento de Cochabamba. Su área de acción es la zona andina e interandina de Bolivia, trabaja desarrollando y haciendo servicio al pequeño y mediano agricultor que hace uso intensivo de la tracción animal en los sistemas agropecuarios de ladera.

Tiene como objetivo contribuir al aumento de la productividad de la mano de obra del trabajador agrícola para incrementar la producción y así mejorar la calidad de vida de la población campesina. Este objetivo se logra, mediante tres líneas de acción: formación, investigación y producción, los que a su vez representan los sectores de CIFEMA.

Los tres sectores forman una sola unidad complementaria y crean una sinergia operativa que permite el logro rápido de los impactos deseados. Quiere decir que corresponde a una estrategia de trabajo y que ninguna de las partes es viable por sí misma y ninguna es sostenible una sin la otra.

- Investigación: Este sector gira en torno al desarrollo de la tecnología generada para: tracción animal, gestión, administración de la maquinaria agrícola y otros en temas especiales. En el desarrollo del trabajo, involucra directamente a los beneficiarios, quienes participan en todo el proceso de la investigación. Dicho proceso se ha denominado "ir y venir", o investigación participativa itinerante, lo que lo hace confiable el equipo, implemento o tecnología. La participación

de egresados de la facultad (como tesistas), es una característica del centro y con ella se logra un doble propósito: dar una respuesta a la necesidad campesina y vincular los conocimientos académicos del futuro profesional, con la realidad rural.

- Formación: Capacita recursos humanos a diferentes niveles: medio, con cursos de corta duración y la formación de agro mecánicos; superior con la carrera de Técnico Superior en Mecanización Agrícola; y la licenciatura con cursos de mecanización agrícola en la Facultad de Agronomía y la Escuela Técnica Superior de Agronomía. Los cursos a agro mecánicos fueron los que tuvieron un impacto inmediato, como consecuencia del mismo, se tiene una red de talleres rurales en el campo. Los factores de éxito en esta área son: la formación técnica principalmente práctica (25% teoría, 75% práctica) y la formación humana implementada, que se denomina el "espíritu CIFEMA", que es la puntualidad, disciplina, orden, confianza, compañerismo, servicio y la relación con la comunidad.
- Producción y comercialización: CIFEMA produce herramientas manuales, implementos y equipos para la agricultura. Su característica es la calidad (producto funcional y de larga vida), minimizar los costos de producción, fabricación en serie, mejor servicio post venta en repuestos y mantenimiento. Una lección aprendida en la comercialización, fue el "ver para creer". Significa que es necesario hacer una demostración práctica a los agricultores y ésta debe realizarse en el momento adecuado. Si a esto se le complementa con alguna ayuda financiera, las posibilidades de adopción son mejores. La trilogía "implemento atractivo-confiable; demostración oportuna; y facilidades de financiamiento" es la clave para una mayor adopción por parte de los pequeños agricultores. Para el logro de esta trilogía, es necesario realizar alianzas con instituciones de toda naturaleza, a nivel local, regional, nacional e internacional.

##### **LA PROBLEMÁTICA DE HACER AGRICULTURA EN SUELOS DE LADERA**

El manejo del suelo y del agua en los sistemas de producción campesina en ladera, es variable en función de diversos factores tales como el tipo de suelo, cultivo, clima, pendiente, tecnología y otros.

En la experiencia de CIFEMA, los procesos de degradación de tierras, en especial la erosión, tiene su raíz en factores económicos, sociales y culturales, que se traducen en la sobre explotación del recurso suelo y en prácticas inadecuadas de manejo del suelo y del agua.

Los campesinos de la zona andina realizan algunas prácticas de conservación que ya son tradicionales y otras prácticas fueron introducidas por instituciones de desarrollo rural; sin embargo, se ha visto que éstas no son suficientes frente al proceso acelerado de degradación de suelos.

La intervención del hombre en el suelo la efectúa en mayor porcentaje cuando realiza las labores de preparación y siembra de los cultivos, en consecuencia si estas no son realizadas de manera adecuada, considerando aspectos externos como el tipo de suelo, pendiente, clima, etc., es inminente la pérdida de fertilidad del mismo.

Los instrumentos con los cuales el hombre interviene en el suelo, son determinantes para la ejecución correcta de las labores, sin embargo vemos que el uso generalizado del arado de palo ha sido el implemento utilizado por siempre y los resultados que vemos no son los deseados.

En la búsqueda de alternativas de bajo costo y de fácil aplicación para el control de la erosión y el mejoramiento de la fertilidad de los suelos, el uso de implementos adecuados complementados con prácticas vegetativas y obras civiles, son una respuesta viable. Esta presentación pretende mostrar las posibilidades de uso de estos implementos en áreas de ladera, como una respuesta concreta a problemas que atingen a la población rural.

## *DEGRADACIÓN DE SUELOS POR EROSIÓN*

### **Definición:**

Degradación de suelos significa el cambio de una o más de sus propiedades a condiciones inferiores a las originales, por medio de procesos químicos, físicos o biológicos. En términos generales, la degradación de suelos provoca alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y como consecuencia, en su capacidad para sostener una agricultura productiva.

Los suelos agrícolas, se vuelven gradualmente menos productivos por cuatro razones fundamentales:

- 1) Degradación de la estructura del suelo,
- 2) Disminución de la materia orgánica,
- 3) Pérdida de suelo y,
- 4) Pérdida de nutrientes.

Estos, son efectos producidos básicamente por el uso y manejo inadecuados del suelo y por acción de la erosión acelerada.

### **Mecánica en la erosión del suelo:**

Según la FAO, la degradación de suelos es un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo ocasionada por agentes erosivos

dinámicos: en el caso de la erosión hídrica, éstos son la lluvia y el escurrimiento superficial.

La lluvia tiene su efecto a través del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo y por el propio humedecimiento del suelo, que provoca desagregación de las partículas primarias. Provoca también transporte de partículas por aspersión y proporciona energía al agua de la escorrentía superficial.

Como consecuencia de la desagregación, se produce un sello superficial que disminuye la capacidad de infiltración del agua en el suelo, se produce detención superficial de ésta y posteriormente el escurrimiento superficial del agua que no infiltra.

Según el Diagnóstico del Estado de los Suelos de Bolivia, realizados por el MACA, en las comunidades andinas, la erosión de suelos es el principal problema de la baja productividad agrícola: el coeficiente de escurrimiento puede alcanzar valores de hasta 80 a 90%, es decir este porcentaje de las lluvias no penetran dentro del suelo.

Para Meier (1993), la preparación superficial del suelo ocasiona enraizamiento superficial y por tanto reserva hídrica reducida.

La labranza del suelo en curvas de nivel sin volcar el suelo, tiene la ventaja de reducir la erosión y mineralización de la materia orgánica, asegurando al mismo tiempo una infiltración aceptable de la lluvia al disminuir el escurrimiento.

## *USO DE IMPLEMENTOS MEJORADOS PARA REDUCIR LA EROSIÓN*

### **Implementos agrícolas desarrollados por CIFEMA y PROMETA:**

En la zona interandina de Bolivia, el 70-80% de la energía utilizada en las labores agrícolas proviene de los animales de trabajo, más concretamente del uso de los bovinos (bueyes en los valles, toros y vacas en el altiplano). En cambio los equinos han sido usados tradicionalmente sólo para el transporte de carga (Antezana, Zambrana, 1999). El empleo de equinos para labores agrícolas trae una serie de ventajas consigo, dado que consumen y cuestan menos que los bovinos. El problema reside en que no existían ni la costumbre, ni los aperos ligeros y arneses adecuados necesarios para su utilización.

Los objetivos de PROMETA, siguiendo los de CIFEMA, fueron los de investigar arneses y aperos para burros y caballos que permitan el aprovechamiento de este valioso recurso. Al mismo tiempo han respondido a pedidos y sugerencias de los agricultores para ampliar el rango de implementos disponibles para

bovinos y así permitir la diversificación de su uso. Si bien los implementos diseñados y desarrollados por PROMETA y CIFEMA, no son directamente conservacionistas, lo que se hizo fue ver que estos tengan el menor efecto degradante posible en los suelos, principalmente en zonas de ladera donde la preparación de suelos (remoción) implica un mayor efecto negativo que en zonas planas. Por ello y como resultado de éste proceso analítico, se consideraron otros trabajos complementarios a éstas prácticas. El diseño de los implementos y las prácticas complementarias generadas y promovidas, son las siguientes:

- Laboreo de conservación.
- Labranza Vertical.
- Siembra directa.
- Descansos mejorados.
- Barreras vivas.
- Escarda de cultivos en hileras.

### **- Laboreo de conservación**

Se define como laboreo de conservación a “cualquier sistema de laboreo que, en comparación con el laboreo convencional, reduce la pérdida del suelo, tanto por erosión hídrica como eólica y disminuye la pérdida de humedad del suelo, bien por escorrentía o por percolación y evaporación”. Para ello, debe dejarse sobre el suelo, una cantidad apreciable de residuos o rastrojo de la cosecha anterior y mantener rugosa la superficie del terreno, dejándola conformada por camellones o por un suelo aterronado y realizar ambas cosas a la vez.

Sin embargo, esta práctica no siempre la realiza el agricultor y ello implica dejar el suelo desprotegido, con el consecuente peligro de la erosión hídrica o eólica. Situación que se acentúa mucho más, cuando llega la época invernal donde escasea el forraje cultivado y de las praderas nativas. Ello obliga a que los animales se vean obligados a consumir todo el rastrojo existente en las parcelas, dejando las mismas sin ningún tipo de cobertura.

### **- Labranza vertical**

Práctica que consiste en una remoción mínima del suelo, donde los implementos utilizados para este fin, implemento múltiple, arado combinado, arado cincel; trabajan solo con la reja, cuyo ancho es mínimo. Ello permite reducir al mínimo el efecto erosivo que estos implementos pueden tener durante la preparación de los suelos.

Por otro lado, la rayada efectuada con el implemento múltiple, el arado combinado o el arado cincel, en suelos con pendiente, permite captar por infiltración lenta, el agua de escorrentía, para su posterior acumulación en el suelo.

La pileteadora, cuya función es la de captar *in situ* el agua proveniente de las lluvias, mediante bordos que se forman dentro los surcos, se acopla al arado combinado. El ancho entre bordo y bordo es variable, pudiendo ser desde 0.8 hasta 3m, dependiendo esto de la ocurrencia de lluvias. Tanto el arado cincel como el pileteador, son recomendados para zonas con escasa precipitación pluvial, para permitir el máximo aprovechamiento del agua.

### **- Siembra directa (SD)**

Se define como “un tipo de agricultura que produce sin remoción del suelo y mantiene la superficie del mismo cubierto con masa vegetal durante todo el año”.

La “cero labranza” es “un conjunto de prácticas que llegan a formar un sistema y todo implica mucha adaptación local de la tecnología y muchas veces los costos de ésta adaptación son muy elevados”.

Otro autor señala que la SD es un método de siembra conservacionista, en el cual la semilla es depositada directamente en el suelo no preparado mecánicamente, donde los residuos del cultivo anterior permanecen en la superficie y las malezas son controladas mediante el uso de herbicidas y/o abonos verdes.

Esta técnica de siembra requiere necesariamente el uso de algún tipo de maquinaria que puede ser traccionada a motor, con animal o manualmente. Pero que se diferencia por el uso de cobertura.

Para estos propósitos, el proyecto PROMETA-CIFEMA, desarrolló sembradoras traccionadas por una yunta de bueyes. Entre éstas se pueden mencionar la sembradora múltiple de tres hileras y el arado cincel otro implemento que tiene la misma función.

La cobertura cumple la función de proteger al suelo de la erosión hídrica y del golpe que ocasionan las gotas de lluvia contra el suelo. Pero también permite una mayor retención de la humedad en el suelo y subsuelo, esto, dependiendo de la cantidad de cobertura.

### **- Descansos mejorados**

Una vez que una parcela agota su potencial productivo (fertilidad), estos entran en un período de descanso por tiempo variable que puede ir desde uno a tres años o más. Inclusive en zonas donde aún se practica la rotación de cultivos en “aynokas”, los terrenos descansan por períodos de 12 a 15 años, dependiendo esto del piso altitudinal a la que se encuentran. Bajo condiciones naturales, la regeneración de la cobertura vegetal es muy lenta.

Para acelerar la recuperación de la cobertura en éstas parcelas en descanso, el proyecto PROMETA-CIFEMA trabajó con la propuesta de los descansos mejorados, sembrando mezclas de tres especies forrajeras (*Lolium multiflorum*, *Festuca alta* y *Trifolium pratense*). Ello consiste en que, en lugar de dejar desprotegido el suelo en zonas de ladera, se siembren éstas especies con un doble propósito. Por una parte, para producción de forraje de buena calidad para el ganado (bovinos, equinos y otros animales domésticos) y por otra, para protección de los suelos y de ésta manera evitar la erosión de los mismos por escorrentía o por arrastre del viento. Los resultados obtenidos a la fecha, no sólo se traducen en la menor pérdida de suelos, sino también en que una vez que la parcela vuelve a ser utilizada, las especies pueden ser incorporadas fácilmente al suelo, recuperando de ésta manera en algo la fertilidad de los suelos.

Otro beneficio que se han podido lograr con el uso de éste tipo de prácticas conservacionistas, es la reducción de la población de nemátodos con los cultivos trampa, como el caso de *Lolium multiflorum*, el cual permite incrementar la producción de los cultivos, principalmente la papa.

#### **- Barreras vivas**

Para complementar la labor de aradura en suelos con pendiente, se recurrió a la plantación de barreras vivas, principalmente haciendo uso de *Falaris* en curvas de nivel, con la ayuda del nivel en "A". Ésta práctica permite la construcción gradual de las terrazas de formación lenta, de ancho variable en función a la pendiente de los suelos. Esta especie también es de doble propósito; se la utiliza para la construcción de terrazas de formación lenta y para el aprovechamiento por los animales como forraje, principalmente en zonas con escasa precipitación pluvial, donde la especie se ha adaptado favorablemente a éstas condiciones ambientales.

Además de ello y una vez que la terraza este llegando al nivel "cero", puede hacerse uso del arado reversible para preparar el suelo en contra del sentido de la pendiente, por la facilidad que este implemento brinda, al voltear el suelo en el sentido que se requiera hacerlo.

#### **- Escarda de cultivos en hileras**

La mayor parte de los cultivos sembrados en hileras, requieren del control de malezas, práctica que generalmente ocupa mucha mano de obra y tiempo, elevando los costos de producción.

Para éste propósito, el proyecto PROMETA-CIFEMA desarrolló una escardadora para tracción animal,

jalada por un solo animal (un solo burro, caballo o buey). La finalidad de este implemento, es evitar sacar las malezas del terreno, una vez que fueron cortadas, entre el nivel del suelo y unos 5cm por debajo de ella. Esto de alguna manera evitará la escorrentía del agua de lluvia o de riego, además permitirá incorporarse al suelo como abono.

Relacionando su uso con la degradación de los suelos, se puede indicar que el uso de un solo animal en las labores agrícolas complementarias o de cultivo, reduce considerablemente el efecto negativo que los animales realizan sobre el suelo. Por una parte disminuye el pisoteo y por otra, también disminuye el consumo de forraje y por ende, la cobertura vegetal que protege los suelos susceptibles a la erosión.

## **V. CONCLUSIONES**

### *EN EL MARCO DE LA POLÍTICA Y PLAN NACIONAL DE SUELOS*

El Ministerio debe:

- Buscar mecanismos para lograr eficiencia en la difusión de información sobre normas, alcances de la Política y del Plan.
- Mayor involucramiento de las plataformas de suelos y ONG's en las acciones del Plan Nacional de Aprovechamiento y Manejo de Suelos.
- Promover la participación de las organizaciones de productores en el proceso de formulación de normativas técnicas.
- Apoyar a los municipios y comunidades para que dispongan de instrumentos y mecanismos de aplicación permanente de las normas y leyes, así como para el control y seguimiento de su cumplimiento.
- Enfatizar en el intercambio de experiencias, conocimiento y saberes locales.
- Continuar con la investigación orientada al rescate de las prácticas y conocimientos tradicionales.
- El MACA debe apoyar en la formulación de los Planes Departamentales de Aprovechamiento y Manejo de Suelos.

## EN EL MARCO DE LA MECANIZACIÓN AGROINDUSTRIAL

El éxito de CIFEMA y PROMETA, se debe a varias causas, entre ellas:

- Los dos proyectos contaron con apoyo externo. CIFEMA recibió apoyo técnico y financiero durante un periodo de 17 años. Lo cual aseguró una línea de equipos (principalmente de tracción bovina); una fábrica bien establecida con un mercado nuevo y sólido; una red de extensionistas; y otra de talleres mecánicos en todo el territorio nacional. Se considera que este apoyo es fundamental para asegurar el éxito y sostenibilidad de esta clase de proyectos de cooperación técnica.
- La capacitación del personal en varios niveles, son factores clave que permiten ampliar el impacto de los proyectos CIFEMA y PROMETA. Inicialmente hubo un periodo de formación de técnicos mecánicos y luego de egresados de la universidad, quienes llevaron la filosofía de CIFEMA a otros centros universitarios de Bolivia y más allá. CIFEMA ha sido responsable de incluir la materia de la tracción animal en el currículo universitario y así asegurar que las necesidades de los sectores pobres de la agricultura reciban la atención merecida por su importancia nacional.
- PROMETA-CIFEMA trajo dos elementos muy importantes al desarrollo de tecnologías; primero, la idea de la importancia de la flexibilidad en la búsqueda de repuestas tecnológicas a los problemas de las familias campesinas. Ya no era aceptable suponer que las repuestas residan en las mentes de los investigadores e ingenieros diseñadores. En cambio el otro elemento traído, lo del desarrollo participativo de tecnologías fue fundamental al éxito logrado en la identificación de productos adoptables.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MEIER, H. 1993. *Mecanización agrícola*. Tomo I. Proyecto Herrandina. Cooperación técnica del gobierno Suizo. 387p.
- ANTEZANA, C. y ZAMBRANA, V. L. 1999. *Diversificación de animales de trabajo en la agricultura. Desarrollo de arneses y aperos para equinos*. Cochabamba, Bolivia. III Encuentro Latinoamericano de Tracción Animal. pp.35-38.

# PRINCIPALES PROBLEMAS EN SEMBRADORAS NO TRACTORIZADAS PARA SIEMBRA DIRECTA, PARA LA PEQUEÑA AGRICULTURA FAMILIAR EN LA PROVINCIA DE CORRIENTES, ARGENTINA

*por Hugo R. Bogado;  
Federico A. Paredes;  
Silvina L. Esparza*  
INTA EEA Corrientes, Argentina

## I. RESUMEN

Numerosas experiencias dan cuenta de la factibilidad del empleo de la siembra directa (SD) por pequeños agricultores de la Provincia de Corrientes como una práctica para atenuar y corregir procesos de erosión y degradación de suelos. El objetivo de este trabajo fue identificar los aspectos más importantes del desempeño de máquinas sembradoras no mecanizadas para SD. Se evaluaron sembradoras de uno y dos surcos para tracción animal. Los resultados se obtuvieron de experiencias llevadas a cabo en diferentes condiciones de suelos y para los cultivos comunes de la zona: maíz (*Zea mays*), caupí (*Vigna unguiculata*) y algodón (*Gossypium hirsutum*). Los parámetros considerados fueron: calidad de siembra, regulaciones y operaciones. Los resultados del desempeño se orde-

naron por rango, permitiendo proponer las siguientes alternativas de mejora: ajustar el peso por cuerpo; incorporar órgano de contacto suelo-semilla; protección del sistema de transmisión; permitir la fertilización lateral y profunda; independizar el órgano de corte de los sistemas de dosificación de semillas y fertilizantes; regulación para semillas de menor tamaño y menor dosis de fertilizante; diseño "de asiento".

**Palabras claves:** sembradoras no mecanizadas; siembra directa; pequeños productores.

## II. SUMMARY

No-till sowing is a good practice to attenuate and correct erosion processes and soil degradation. Numerous experiences indicate the feasibility of this practice to be adopted by small farmer of Corrientes. The objective of this work was to identify the most important aspects to take into account in the performance of no-mechanized seeding machines for no-till sowing. One and two drill sowing machines for animal traction were evaluated. Results obtained came from experiences with common crops of the region, carried out in different soil conditions: maize (*Zea mays*), caupí (*Vigna unguiculata*) and cotton (*Gossypium hirsutum*). Parameters evaluated were: quality of sowing, regulations and operations. The results of the performance were ranked, allowing to propose the following alternatives for improving: to fit the weight by body; to incorporate organ for soil-seed contact; protection of the transmission system; to allow lateral and deep fertilization; to release cutting organs from the dosage ones; regulation for smaller size seeds and lower dose of fertilizer; seat design.

## III. INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Corrientes, los sistemas de pequeños productores familiares son complejos y se distribuyen en diferentes condiciones agroecológicas, de infraestructura, socioculturales y económicas. En ellos se identifican características comunes como: residencia en la chacra; irregularidad en la tenencia de la tierra; bajos ingresos brutos; limitada capacidad de gestión empresarial; desventajas comparativas en el acceso a información y a los mercados de concentración; problemas sanitarios y nutricionales y de degradación de los recursos naturales (ambientes frágiles).

Las prácticas agrícolas son en base al sistema convencional de labranzas, monocultivos de escarda, y donde la energía animal es la principal fuente de tracción, representada por bueyes y caballos.

Numerosas experiencias locales dan cuenta de la factibilidad del empleo de la SD por pequeños agricultores como una práctica complementaria para atenuar y corregir procesos de erosión y degradación de suelos, a la vez que contribuyen con la reducción del empleo de mano de obra y otras mejoras en el sistema de producción.

Dentro de los diferentes aspectos abordados en la adecuación del sistema de SD con los pequeños productores, la mecanización constituye un aspecto clave, en particular la sembradora, ya que de ella depende la exitosa instalación de los cultivos.

El presente trabajo pretende identificar los aspectos más importantes del desempeño de algunas máquinas sembradoras evaluadas para las condiciones predominantes de los sistemas de pequeños agricultores familia-

res y en base a ellos, hacer las propuestas de modificación, tanto estructurales como funcionales.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Los trabajos de evaluación se realizaron en sistemas reales de producción, en ambientes y suelos representativos de la Provincia. Las observaciones incluyen un conjunto de parámetros de la máquina sembradora no mecanizada, empleando diferentes orígenes de fuerzas de tracción.

Las observaciones descritas y modificaciones sugeridas surgen de parámetros cuantitativos y cualitativos relevados en diferentes trabajos con productores, ordenándolos en tres categorías. Los parámetros considerados se incluyeron en los ítems: calidad de siembra, regulaciones y operaciones. Para el desempeño operacional en la implantación de los cultivos se evaluó la capacidad para atender las recomendaciones agronómicas de manejo de los cultivos predominantes de la región, mientras que el análisis de la estructura permitió identificar aspectos de regulación, mantenimiento y operación de la sembradora, que afectan al buen desempeño general de la máquina.

Las principales características de las máquinas empleadas se detallan a continuación:

### *SEMBRADORA-FERTILIZADORA DE UN LÍNEO DE ARRASTRE*

**Descripción:** Depósito de semillas de 18.5l de capacidad. Depósito de fertilizante de 18.5l, equivalente a 14 a 18kg de capacidad para los fertilizantes más comúnmente usados. Tubo de descarga de semillas y fertilizante de profundidad regulable. Placas para maíz, poroto, algodón y ciegas.

### *SEMBRADORA DE DOS LÍNEOS DE ARRASTRE*

**Descripción:** Chasis porta cuerpos de estructura tubular montada sobre tres ruedas de goma de 15". Ancho de labor regulable de 0.52 a 1m. Depósito de semillas de chapa de 40l de capacidad. Doble disco abresurco, rueda apretadora de semilla y ruedas tapadoras de goma con discos dentados. Placas para maíz, algodón y ciegas. Marcadores dentados de levante manual.

### *SEMBRADORA-FERTILIZADORA DE DOS LÍNEOS DE ARRASTRE*

**Descripción:** Tiempo operativo, 3 a 4hs/ha tirado por bueyes y 2hs/ha por tractor. Distancia entre líneas regulable de 0.5 a 1.0m. Bastidor de hierro con ruedas transportadoras de levante manual. Depósito de semillas de 8 a 10kg de capacidad. Depósito de fertilizante de 12 a 16kg de capacidad. Tubo de descarga de semillas y fertilizante de profundidad regulable. Placas de maíz, poroto, algodón y ciegas.

**Cuadro 2.23.** Características comunes de las sembradoras para siembra directa de tracción animal.

Tipo	Órgano de corte de rastrojos	Regulación para corte y penetración	Surcador de fertilizante	Surcador de semillas	Control de la profundidad	Acondicionamiento de los dosificadores	Órgano de contacto semilla-suelo	Cobertura de la línea de siembra
Labranza mínima 1 línea	No posee	Reja tipo púa	No posee	Reja tipo púa	Operador	Sistema de cadenas desde ruedas delanteras	No posee	No posee
SD 1 lineo de arrastre	Disco de corte iso con limitador de profundidad	Peso propio succión por púa	Doble disco encontrado y/o tipo púa	Doble disco encontrado	Rueda tapadora trasera	Sistema de cadenas desde ruedas delanteras	No posee	Rueda doble en V
SD 2 lineos de arrastre	No posee	Peso propio	No posee	Doble disco encontrado	Palancas manuales y ruedas tapadoras de surco	Sistema de cadenas desde ruedas de transporte	Rueda engomada	Ruedas engomadas en V con discos dentados
SD 2 lineos de arrastre	Disco de corte iso	Enganche succión por púa	Doble disco encontrado y/o tipo púa	Doble disco encontrado	Ruedas delanteras	Sistema de cadenas desde ruedas delanteras	No posee	Rueda doble en V

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los principales problemas identificados para las diferentes funciones se resumen en los cuadros a continuación

**Cuadro 2.24.** Principales problemas identificados relacionados a la calidad de siembra.

Función	Rango de desempeño	Principales problemas identificados
Corte del rastrojo y ocurrencia de atascamientos	Regular a malo	Peso por cuerpo insuficiente; problemas de corte con rastrojos abundantes, lignificados, en pie o de rastreras. Mayor ocurrencia de atascamientos cuando se emplea el surcador de fertilizante tipo zapata; en las cadenas de transmisión de movimiento sin protección
Uniformidad en la profundidad de siembra	Bueno a regular	Desempeño irregular en diferentes condiciones; escaso peso por cuerpo; rastrojos abundantes; retrasos en la emergencia; emergencia desuniforme, mayor en suelos arcillosos; en arenosos no presenta mayor dificultad, salvo con volúmenes muy abundantes de rastrojos
Area removida de suelo	Muy bueno a regular	Excesiva remoción al usar la púa tipo zapata para la dosificación de fertilizantes
Cobertura de suelo sobre la semilla	Muy bueno a regular	Las ruedas tapadoras no mantienen uniformidad en la presión y tapado sobre la línea. Condicionada por la excesiva remoción de suelo
Distribución de semillas	Regular	Trabajo irregular; variación en la distancia entre semillas; desuniformidad en la siembra por: arrastre de semilla, patinamiento de ruedas transmisoras; orificio de descarga muy amplio; agravado con semillas no calibradas
Distribución de fertilizantes	Bueno	Depende del trabajo de las transmisoras de movimiento, cuando éstas están sin protección y se atorán, desmejoran el desempeño de la operación

**Cuadro 2.25.** Principales problemas identificados relacionados a las regulaciones.

<b>Función</b>	<b>Rango de desempeño</b>	<b>Principales problemas identificados</b>
Nivelación	Bueno a regular	Dificultades para mantener la dirección de siembra; mayor esfuerzo del operario para conservar la dirección; pérdida de estabilidad.
Distancia entre líneas	Regular	Líneas de siembra desparejas por: ausencia de marcadores; disco cortador fijo dificulta la corrección de la dirección de avance.
Profundidad de trabajo	Bueno a regular	Muchos ajustes individuales para regular la profundidad; se debe modificar por separado siembra y fertilización; necesidad de mayores rangos de regulación de profundidad con topes.
Regulación de semillas	Bueno	Ningún.
Regulación de fertilizantes	Regular a malo	Falta de relaciones de transmisión para ajustar a dosis diferentes; no admite la fertilización lateral y más profunda. Muy dependiente de la granulometría del fertilizante.
Cambio de componentes	Bueno	Ningún.
Lubricación	Regular a malo	Pocos puntos de lubricación, pero con fallas en la protección de rulemanes; agravada en suelos arenosos. Sistemas desprotegidos.

**Cuadro 2.26.** Principales problemas identificados relacionados a las operaciones y operario.

<b>Función</b>	<b>Rango de desempeño</b>	<b>Principales problemas identificados</b>
Transporte y maniobrabilidad	Regular a malo	Ruedas motrices con movimiento fijo; excesivo esfuerzo en las cabeceras; poca maniobrabilidad.
Practicidad del trabajo	Bueno a regular	Relacionado a las ruedas motrices, marcadores, peso y tipos de enganche: excesivo esfuerzo del operario. Fácil acceso a tolvas de abastecimiento; buena visión del trabajo durante la operación de siembra; embrague de accionamiento (trabe y destrabe).
Estabilidad	Regular	Menor con tolvas cargadas y terrenos irregulares; condicionado por el tipo y longitud del enganche, e irregularidades del terreno.
Esfuerzo del operario	Regular a malo	excesivo esfuerzo en la operación de traslado; en el accionamiento del sistema de siembra y bloqueo; levante y giro en cabeceras; presión sobre la máquina durante la operación de siembra.
Limpieza y mantenimiento	Bueno	Ningún.
Seguridad del operador y auxiliar	Regular a malo	Riesgoso en cabeceras: maniobras poco prácticas (levantar orientar la máquina); mecanismos móviles desprotegidos; el operario debe ir caminando detrás de la máquina.

En base a los aspectos analizados y a los problemas comúnmente encontrados se proponen algunas alternativas de mejoras:

- Ajustar el peso por cuerpo (agregar en la mayoría de los casos), considerando la maniobrabilidad y esfuerzos del operario.
- Agregar disco cortador de rastros.
- Disco cortador con posibilidad de movimiento lateral.
- Incorporar un órgano de contacto suelo-semilla.
- Protección del sistema de transmisión.
- Incorporar tolvas para fertilizantes que permitan anular el sistema dosificador.
- Adecuar a los órganos de aplicación de fertilizante para permitir la dosificación lateral a la línea de siembra y más profunda.
- Independizar los órganos activos de corte del accionamiento y dosificación de semillas y fertilizantes.
- Órganos dosificadores de semillas con posibilidad de regulación para semillas de menor tamaño.
- Mecanismo dosificador de fertilizante con posibilidades de regulación para menores cantidades.
- Agregado de rueda central de movimiento libre de transporte y maniobras (triciclo), con accionamiento solidario a las ruedas de transporte.
- Diseño "de asiento", que permita el incremento de peso por cuerpo con el del operario. Ubicación: atrás y al centro. Con posibilidad de accionamiento de la dosificación de semillas y fertilizantes y de cada cuerpo individualmente.

## VI. CONCLUSIONES

Los principales problemas encontrados en las máquinas sembradoras para tracción animal con las que se trabajó son:

- Calidad de siembra: corte de rastrojo y distribución de semillas, relacionados al peso de la máquina y por cuerpos;
- Regulaciones: distancia entre líneas de siembra; dosificación de fertilizantes; y puntos de lubricación y protección de piezas;

- Maniobrabilidad y seguridad del operario; y

- Esfuerzo requerido para la operación de siembra.

La mayoría de los problemas identificados en unidades reales de producción en las máquinas consideradas son de tipo estructural.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOGADO, H.R. sf. *Maíz en rotación con abonos verdes de verano*. Sin publicar.

BOGADO, H.R. y PAREDES, F.A. 2004. *Recuperación de suelos del área tabacalera. Relevamiento de chacras demostrativas de agricultura sustentable*. Sin publicar.

CÁCERES, D.M. 2003. *Catálogo de tecnologías para pequeños productores agropecuarios*. Proyecto de Desarrollo de Pequeños Productores Agropecuarios – PROINDER. Serie Estudios e Investigaciones N° 5. Ed. Glunhein S.R.L. Argentina. 272p.

CONVENIO INTA - SAP. 1999. *Informe de actividades y resultados en chacras de pequeños productores. Campañas 1997/98 y 1998/99*. INTA EEA Corrientes. Corrientes, Argentina. 35p.

INTA. 1995. *Tecnología de producción disponible para pequeños productores*. INTA EEA – AER Corrientes. Corrientes, Argentina. 98p.

INTA. 2004. *Análisis de los resultados del relevamiento socio-productivo del Departamento de San Miguel, Corrientes, orientado al sector de Pequeños Productores Minifundistas*. Borrador de Trabajo. Proyecto Regional de Pequeños Productores de Corrientes. INTA EEA Corrientes. Documento interno. Sin publicar.

INTA. *Plan Estratégico Institucional 2005-2015. Documento Base*. Buenos Aires, 26 de Noviembre, 2004.

LIGIER, H.D. 1997. *Estrategias para una agricultura sustentable en pequeñas propiedades*. EEA INTA Corrientes, Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales. 17p.

PAREDES, F.A. y BOGADO, H.R. 2003. *Ensayo comparativo de rendimiento de maíz amarillo en siembra directa versus convencional*. Proyecto Regional de Pequeños Productores de Corrientes. INTA EEA Corrientes. Sin publicar.

PAREDES, F.A. y BOGADO, H.R. 2004. *Módulos demostrativos de agricultura sustentable para pequeños productores y técnicos*. Proyecto Regional de Pequeños Productores de Corrientes. INTA EEA Corrientes. Sin publicar.

PAREDES, F.A. y BOGADO, H.R. 2005. *Informe de resultados del ensayo comparativo de materiales de algodón*. Sin publicar.

ZINI, E.A.; LIGIER, H.D.; MÉNDEZ, M.A. y BOGADO, H.R. 2002. *Maquinaria para siembra directa en la pequeña propiedad*. *In*: Curso de siembra directa en pequeñas propiedades. INTA EEA Corrientes - PROCISUR. Corrientes, Argentina; 29-30 de Junio de 2000. pp.93-97.

# EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DE SEMBRADORAS NO TRACTORIZADAS PARA SIEMBRA DIRECTA, EN PEQUEÑAS UNIDADES PRODUCTIVAS

*por Antonio Faganello;  
Rainoldo Alberto Kochhann;  
José Eloir Denardin;  
Arcenio Sattler  
Embrapa Trigo, 970 Passo Fundo,  
RS, Brasil.*

## I. INTRODUCCIÓN

La falta de equipos compatibles con la estructura agraria de los establecimientos agrícolas pequeños de agricultura familiar, más allá de restringir la adopción de sistemas conservacionistas de manejo del suelo y de los cultivos, proporciona una agricultura de calidad inferior, en razón de la demanda de elevado esfuerzo humano cuando ésta se compara con establecimientos agrícolas de tamaño medio y grande. En los estados de Río Grande del Sur y Santa Catarina, aproximadamente el 60% de los establecimientos agrícolas existentes se clasifican, en cuanto a su estructura agraria, en el grupo de las llamadas unidades productivas pequeñas, con área de hasta 20 has. Los estableci-

mientos agrícolas con ese tamaño de área física, presentan restricciones de motomecanización, en parte por su economía de escala, por la falta de disponibilidad de capital y en parte por la topografía y pedregosidad del suelo, que, por lo tanto, los induce a una elevada fuerza de trabajo humano y/o animal en los procesos productivos. Los esfuerzos realizados para resolver ésta problemática, promovieron el desarrollo de equipos agrícolas para el manejo conservacionista de los suelos. Sin embargo, la solución completa del problema, independientemente de la necesaria alteración del sistema agrícola productivo, pasa ciertamente por el uso de estos

equipos agrícolas, fundamentalmente para la humanización del trabajo agrícola y la mejora en la calidad de agricultura practicada.

El Centro Nacional de Investigación de Trigo – EMBRAPA Trigo, en sociedad con otras instituciones, como Emater/RS, Epagri/SC, COTREL e industrias fabricantes de equipos agrícolas para pequeñas unidades productivas, implementó el proyecto de investigación, con el objetivo de evaluar la performance de sembradoras con el fin socializar los conocimientos adquiridos, asesorar a los fabricantes de sembradoras y, principalmente, humanizar el trabajo agrícola.

Los objetivos fueron alcanzados a partir de la instalación de unidades de validación/demostración, en pequeñas unidades productivas, a través del uso de equipos de SD, de tracción animal, de tracción tractorizada y autopropulsada.

Las sembradoras para el sistema de siembra directa (SSD), evaluadas/demostradas, en varios años, fueron cedidas por pequeñas empresas regionales, fabricantes de máquinas agrícolas, mediante formación de sociedades entre empresas públicas de investigación y de extensión agrícola con el sector industrial privado. Fueron utilizados varios modelos de sembradoras: para SD de tracción animal, para tractores de baja potencia y una autopropulsada.

Las acciones de validación y transferencia de tecnología referentes a maquinaria agrícola fueron ejecutadas en varios municipios del estado de Río Grande del Sur, indicados por la Emater/RS y en dos municipios del estado de Santa Catarina, indicados por la Epagri/SC, representativos de las condiciones para las cuales los equipos fueron proyectados. Las instituciones socias (Emater/RS y Epagri/SC) fueron responsables de escoger las áreas para la instalación de las unidades de validación/demostración, del acompañamiento y, principalmente, del involucramiento de los productores de forma activa en las evaluaciones efectuadas, teniendo como objetivo la adopción de estos equipo.

Los clientes/beneficiarios (productores agrícolas) participaron del proceso operando las sembradoras-fertilizadoras y emitiendo opiniones subjetivas de los parámetros ergonómicos (dirección, estabilidad, maniobrabilidad, confort para la operación y demanda de esfuerzo físico).

Las áreas de campo para las acciones de validación y de transferencia de tecnología referentes a las sembradoras-fertilizadoras, fueron caracterizadas según parámetros físicos y químicos del suelo y según la cantidad y tipo de materia seca presente en la superficie del suelo en el momento de las pruebas. Las unidades

de validación/demostración estaban constituidas por varias pasadas de 40m de longitud, con cada una de las sembradoras en prueba. Estas unidades fueron sembradas por los productores rurales, siendo que cada productor operó todas las sembradoras-fertilizadoras en prueba, en el año. Los parámetros de validación/demostración incluyeron: eficiencia agronómica (corte del rastrojo, atascamiento, uniformidad de profundidad de deposición de semillas y de fertilización en la línea de siembra; distribución longitudinal de semillas en la línea de siembra, stand de plantas y movilización del suelo en la línea de siembra); ergonomía (dirección, estabilidad, maniobrabilidad, confort para la operación y demanda de esfuerzo físico); y versatilidad (facilidad, rapidez y posibilidad de regulación para diferentes dosis de fertilizante y de semilla para diversas especies cultivadas). El ítem ergonomía fue evaluado mediante cuestionarios aplicados a los operadores de las sembradoras-fertilizadoras.

Los primeros resultados de las validaciones/demostraciones permitieron concluir que los equipos existentes necesitan considerables mejoras en lo referente al corte del rastrojo, la abertura del surco, la dosificación de la semilla, la maniobrabilidad, la dirección, la estabilidad y el elevado esfuerzo para operar las sembradoras. En razón de eso, varios cambios fueron sugeridos a los fabricantes y nuevas configuraciones fueron proyectadas, las que pasaron inmediatamente a integrar las acciones de validación/demostración.

Las sembradoras de tracción animal con una línea de siembra, para SD en pequeñas unidades productivas experimentaron drásticas alteraciones. Las sembradoras estilo “arado europeo” (**Figura 2.27**) traccionadas por cadena y caracterizadas por varios mecanismos rompedores de suelo en contacto con el suelo, distribuidos a lo largo del chasis, de aproximadamente 1.5m de longitud, fueron sustituidas por las sembradoras con el estilo de los arados típicos de América Latina).



Figura 2.27. Sembradora de tracción animal, para siembra directa, con chasis tipo “arado europeo”.

Las mejoras introducidas por los respectivos fabricantes y actualmente incorporadas en las sembradoras Werner (**Figura 2.28**) y Fitarelli (**Figura 2.29**) de una línea de siembra, constaron del acoplamiento de la sembradora al yugo de los animales a través del cabezal rígido, en sustitución a la cadena de tracción. La sustitución del dosificador de disco de hierro por dosificador tipo disco alveolado hori-

zontal (perforado) para la semilla, semejante al utilizado en sembradoras tractorizadas y los varios mecanismos rompedores del suelo (rueda motriz, disco corte, disco doble o machete para la deposición del fertilizante y disco doble para la deposición de la semilla y rueda presionadora del suelo) fueron substituidos por un único mecanismo rompedor del suelo, tipo cincel.



**Figura 2.28.** Sembradora de tracción animal, para siembra directa, modelo Werner, con chasis tipo arado típico de América Latina.



**Figura 2.29.** Sembradora de tracción animal, para siembra directa, modelo Fitarelli, con chasis tipo arado típico de América Latina.

Estas características, más allá de proporcionar a las sembradoras de tracción animal reducción de costos, confirieron simplicidad, practicidad operacional, reducción del peso y una mejor eficiencia agronómica para la siembra en suelos pedregosos y de topografía accidentada.

La innovación tecnológica con la introducción del dosificador de semilla tipo disco alveolado horizon-

tal en las sembradoras, permitió la dosificación de diferentes semillas de cultivos como el maíz, habas, soja, sorgo y algodón. Esto confirió versatilidad a los equipos, otorgando a la sembradora un mejor desempeño agronómico al mejorar la distribución de las semillas y, consecuentemente, proporcionar el beneficio de la productividad en relación a los modelos antiguos.

Las características actuales observadas en la sembradora Fitarelli (**Figura 2.30**) de tracción animal con dos líneas de siembra, para SD en pequeñas propiedades, también recibió modificaciones significativas. La introducción del dosificador de semilla usado en las sembradoras tractorizadas y el uso de cabezal rígido, uso de un único mecanismo rompedor del suelo por la línea de siembra, de tipo disco pulpo desfasado para el corte del rastrojo, la abertura del surco y deposición de semillas, posibilitaron la disponibilidad de una sembradora más efi-

ciente. La mejor dosificación y deposición de semillas de la sembradora posibilitó un mejor stand de plantas y, consecuentemente, ganar en la productividad de los cultivos de maíz, habas y soja. Por ser una sembradora de dos líneas, aumentó el rendimiento operacional, o sea que se dobló el área sembrada por unidad del tiempo en la relación a las sembradoras de una línea. Este modelo de sembradora también se puede acoplar con el sistema hidráulico de tractores de baja potencia.



**Figura 2.30.** Sembradora de tracción animal, para siembra directa, modelo Fitarelli, con dos líneas de siembra.

La sembradora SEMBRA 2000 (**Figura 2.31**) fue desarrollada con el objetivo de sustituir la tracción animal usada en la mayoría de las propiedades pequeñas del país, por una fuente de energía motomecanizada. La Sembra 2000, se caracteriza por ser una sembradora autopropulsada, proyectada para viabilizar el SSD en pequeñas unidades productivas. Presenta versatilidad, haciendo posible la siembra de cultivos como maíz, habas, soja, sorgo y algodón, entre otros. El equipo se destaca por la precisión en la distribución longitudinal de las semillas, en virtud de la reducida velocidad de deposición; por la reducida altura de la caída de las se-

millas y el uso de discos alveolados como dosificadores de la semilla. Se destaca también por la uniforme profundidad de colocación de la semilla en el surco de siembra y por el perfecto contacto de la semilla con el suelo, dando por resultado un mayor rendimiento de granos por unidad de área cultivada.

Es importante destacar que existen actualmente, otras industrias de maquinaria agrícola que desarrollan sembradoras con una línea de siembra y con características similares a las mencionadas anteriormente.



**Figura 2.31.** Sembradora autopropulsada, para siembra directa, modelo SEMBRA 2000, con dos líneas de siembra.

# SEMBRADORAS DE CERO LABRANZA DE TRACCIÓN ANIMAL

## PROBLEMAS Y SOLUCIONES EN CHILE

*por Carlos Ruiz S.  
INIA, Quilamapu, Chile  
Jorge Riquelme S.  
INIA, Raihuén, Chile*

### I. RESUMEN

En Chile, desde mediados de la década del 80, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) inició trabajos de investigación y desarrollo de sembradoras de tracción animal para siembra directa (SD), particularmente durante los últimos cinco años se ha intensificado la investigación y desarrollo de este tipo de maquinas en el Proyecto "Conservación del Medio Ambiente y Desarrollo Rural Participativo en el Secano Mediterráneo de Chile" (CADEPA), iniciado el año 2000, en el sector de San José, comuna de Ninhue, VIII Región de Chile, que ejecuta el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la Agencia Internacional de Cooperación del Japón (JICA). La SD en este proyecto juega un rol central y permite controlar la erosión hídrica de los suelos y

junto a otras tecnologías implementadas, persigue transformar el actual sistema productivo dominante en el secano mediterráneo de Chile, que consiste en una rotación en base a pradera natural, de baja productividad, barbecho y posteriormente trigo, después del cual, se establece una leguminosa u otro cereal como avena, o simplemente retoma su uso como pradera natural. En estas condiciones se explota una vasta superficie de suelo que queda prácticamente un año descubierta, por la práctica del barbecho, realizado con arado de vertedera, favoreciendo el proceso de erosión hídrica e incrementando el escurrimiento de las aguas, lo que unido al sobre pastoreo de la zona, configura un cuadro de deterioro progresivo de los recursos naturales. En el desa-

rollo e introducción de la SD de tiro animal en Chile se han presentado básicamente dos problemas: uno relacionado con el desarrollo e introducción de maquinaria y el otro relacionado con el manejo de los residuos previo a la siembra. En la solución de ambos se ha avanzado, se ha reducido el peso de las máquinas, se han desarrollado dosificadores de semillas y fertilizantes y se han diseñado abre surcos y depositadores de semillas más eficientes. En el manejo de residuos, dada su escasa descomposición, por problemas de escasez de humedad, se ha trabajado en el picado y eliminación de residuos. En el aspecto de gestión económica, las sembradoras de SD de tracción animal presentan ventajas sobre las sembradoras de tracción motriz, a condición que el agricultor disponga de animales y opere el mismo la sembradora, dado que en estas condiciones no le significan una salida de recursos económicos por el total de la labor de siembra. En un análisis económico puro, las sembradoras de SD de tracción motriz trabajan con costos operativos similares que las máquinas de tracción animal, en atención a que estas últimas son de alto costo, corta vida útil y lentas para efectuar la labor de siembra. Ante esta situación los agricultores que no disponen de animales de tiro prefieren los servicios de tracción motriz.

## II. INTRODUCCIÓN

Desde mediados de la década del 80 se viene trabajando en Chile en la investigación, desarrollo e introducción de sembradoras de SD de tiro animal, los primeros trabajos estuvieron enfocados a desarrollar una máquina, traccionada por animales, que cumpliera múltiples propósitos, sobre esta base se construyó el denominado Multicultor ICAT-INIA, que tenía la ventaja de ahorrar combustible, acoplar una gran cantidad de implementos como arado, rastra de disco, escarificador, rodillo de jaula, plataforma de carga, además se podía regular fácilmente y operar cómodamente sentado. A partir de este prototipo se planteó agregar otro tipo de implementos entre ellos una sembradora de cereales de 8 hileras, que permitiera realizar la siembra en forma directa, el diseño y construcción de este implemento fue la primera sembradora de SD de tiro animal en Chile.

Luego a inicios de los años 90, se conversó con una Empresa Argentina (JUBER), para que construyeran un diseño de una sembradora de SD, basado en el conocimiento logrado por INIA a la fecha. El primer prototipo reunía una serie de ventajas relacionadas con el sistema de dosificación, tanto de la semilla como del fertilizante, pero presentaba la desventaja de ser muy pesada para la tracción que podían ejercer dos caballos del tipo chileno y además en ese momento era de un alto costo para los pequeños agricultores de Chile, sujetos de uso de esta nueva máquina.

En adelante intervinieron artesanos chilenos, con ayuda de INIA y la Universidad de Concepción, quienes fundamentalmente enfocaron su trabajo a bajar el peso de la máquina y bajar los costos de la misma. En este desafío los artesanos nacionales obtienen un éxito relativo, dado que la economía chilena crece y tienen serias dificultades para bajar costos, se ven obligados a diseñar elementos dosificadores sencillos, pero lograron diseñar una máquina más pequeña, que ha presentado ciertas dificultades, particularmente en siembras después de cereales que dejan una abundante cantidad de residuo sobre el suelo. Un fuerte impulso se da al mejoramiento de las sembradoras de tiro animal en el proyecto CADEPA. INIA cuenta con el apoyo de la JICA, donde expertos chilenos y japoneses estudian los prototipos nacionales, a partir de estos se introducen correcciones en la regulación de altura de la máquina y en los abre surcos, por problemas de costos no se introducen correcciones en los dosificadores de semilla y fertilizantes de la máquina.

El diseño de las máquinas, debido a que durante el verano no llueve en la zona central de Chile, ha estado enfocado a operar con altos niveles de rastrojos que permanecen acumulados sobre el suelo sin descomponerse, transformándose en el gran obstáculo para las actividades de las siembras. Se introducen modificaciones en la disposición de los cinceles abre surcos, estos se ubican en dos ejes paralelos y se aumenta el área de despeje de residuos.

Sin perjuicio de lo anterior, respecto de lo económico no se logran bajar los costos de construcción y los demandantes de este tipo de maquinaria empiezan a buscar otros proveedores.

## III. DESARROLLO TECNOLÓGICO

La primera sembradora de cero labranza de tiro animal utilizada en Chile fue una máquina Sembradora de ICAT-INIA, que era una máquina rústica diseñada por INIA dotada de abre surcos rígidos que transmitía un esfuerzo de tracción muy brusco a los animales. Esto provocaba que a veces estos abre surcos se quebraran. Sobre la base de esta máquina a mediados de los años ochenta el INIA incluyó en sus actividades de difusión y capacitación recomendar la SD de tiro animal. Esta máquina no podía operar eficientemente sobre rastrojo por la disposición lineal de los abre surcos montados en una barra porta herramienta. Esta máquina estaba dotada de siete abre surcos nacionales y requería mucha potencia.

Posteriormente a inicios de los años 90 y con el objeto de subsanar los problemas de la sembradora ICAT-INIA introdujo en el país una máquina para SD, marca JUBER, modelo JR, de flujo continuo, fabricada por JUBER S.A. (8189) Darrageira, Buenos Ai-

res, Argentina, de 3.82m de largo, 1.68m de ancho, 1.33m de alto y un peso de 366kg equipada con 3, 6, ú 8 cuerpos de contacto con el suelo dependiendo del tipo de siembra. Los vástagos abre surcos estaban construidos con acero templado de procedencia Alemana. En estas condiciones cada vástago requería 40 a 60kg de tiro y por ejemplo para una siembra de trigo con 5 vástagos abre surcos, distanciados entre hileras de 15.5cm y velocidad de trabajo de caballos de 4km/hr, podía sembrar algo más de una hectárea en el día. Esta máquina en las evaluaciones en el INIA de Chile demostró una gran versatilidad cuando era usada en siembras con un bajo nivel de residuo y era traccionada por un tractor de más de 25HP.

Cuando fue utilizada en predios de pequeños propietarios mostró dificultad para ser traccionada por caballos y/o bueyes, por su alto peso y además mostró también dificultades para operar en condiciones de alta cantidad de residuos sobre el suelo, que era uno de los requisitos y recomendaciones del INIA para evitar las pérdidas de suelo por erosión.

En el proceso de introducción de estas máquinas, diversos artesanos y profesionales del agro, de la provincia de Ñuble, VIII Región y en la provincia de Temuco IX Región, visualizaron una oportunidad de negocio, en atención a que las máquinas de cero labranza presentaban ventajas técnicas innegables, pero la opción era introducirlas desde Argentina a un alto costo, aproximadamente US\$ 3.500/unidad a inicios de la década del 90, precio que no podía ser cancelado por los pequeños agricultores chilenos. Simultáneamente las fábricas Argentinas daban preferencia a su mercado interno, así se dificultó la importación de estas máquinas hacia Chile y los artesanos chilenos deciden iniciar su fabricación basados en el modelo inicial del Multicultor ICAT-INIA, en el modelo JUBER Argentino y en las enseñanzas de formación de postgraduados en la Facultad de Ingeniería Civil Agrícola de la Universidad de Concepción, Campus Chillán, dadas por el profesor visitante Brian Sims, en esa época funcionario de la División de Ultramar del Instituto de Investigación de Silsoe, Reino Unido. Quién introdujo los conceptos de minimizar las fuerzas de tracción en herramientas de labranza, con énfasis en el diseño de abre surcos para sembradoras de SD, concluyendo que el ángulo de penetración perfecto debía ser de 16° respecto del horizonte del suelo. Estos conocimientos fueron divulgados a los artesanos, quienes con apoyo de INIA y de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la U. de Concepción emprendieron tres objetivos básicos en el desarrollo de este tipo de máquinas; disminuir costos, disminuir el peso de la máquina para facilitar su tracción con animales y mejorar su nivel de operación con altos niveles de residuo.

En la zona central de Chile inician en forma separada la construcción de estas máquinas los artesanos Leopoldo Herrera de la comuna de Yungay, provincia de Ñuble, VIII Región, Luis Vásquez de la Comuna de Temuco, provincia de Temuco IX Región y en la comuna de Chillán, VIII Región el profesor Universitario, especialista en mecanización agrícola la Belisario Candida. En un inicio estas máquinas fueron diseñadas y utilizadas para siembra de trigo y lentejas, posteriormente el INIA le adicionó al prototipo JUBER Argentino una unidad forrajera.

Sin embargo, a pesar del progreso alcanzado en el desarrollo técnico de las sembradoras de tiro animal, persisten algunos problemas para la SD en Chile relacionados con el manejo los rastrojos de la cosecha anterior, determinación de niveles adecuados de rastrojos para evitar problemas en la sembradora de tiro animal y mejorar la precisión de la siembra, entre otros. Para solucionar el problema de manejo de residuos se ha trabajado en picar los rastrojos con una cortadora rotativa de tracción animal y/o tracción motriz y luego estos residuos son hilerados con un rastrillo de descarga lateral de tracción motriz. Si bien es cierto que estas son prácticas que han dado resultado, son de alto costo y la acumulación excesiva de residuos en un sector del predio provoca ciertos efectos alelopáticos, que impiden la geminación de las especies naturalizadas o sembradas y no constituyen una práctica del agrado del productor.

Las actuales sembradoras de tiro animal están equipadas con cinceles de puntas gruesas y muy ásperos, que aumentan la fuerza de tracción (resistencia=150kg, Yashiro, 2003). Se están enangostando las puntas de los cinceles, incluso sobre este tema existen ciertas discrepancias técnicas, en el sentido que algunos recomiendan sustituir los cinceles por discos (Sr. Seki, experto de CETAPAR, Paraguay, 2005), debido a que la resistencia con los discos, según él, disminuiría en 1/3 aproximadamente en relación a los cinceles. Además, se recomienda ubicar los cinceles en dos ejes paralelos, para aumentar el área de despeje de residuos e independizar estos cinceles para que puedan funcionar en forma individual, no obstante, por problemas de costo esto no ha sido posible.

## TRACCIÓN

Desde el prototipo inicial de ICAT- INIA y la máquina JUBER, para utilizar tracción animal fue necesario disminuir el número de abre surcos de 7 a 5 unidades, que pueden operar con disposición de faena durante la jornada de trabajo. Algunos fabricantes inicialmente diseñaron con 5 abre surcos y con ruedas metálicas, pero actualmente la mayoría esta equipada con ruedas de goma. Esta condición, permitía más tracción, pero presentaba serios proble-

mas de traslado de la maquina en algunos caminos pavimentados y fue superada por la mayor facilidad de servicios para reparar las ruedas neumáticas cuando sufren problemas. Asimismo, las nuevas máquinas se les bajo el peso, desde los 366 de la JUBER a 200Kg que actualmente pesan los modelos más avanzados de INDEMAF del fabricante Belisario Candida.

No obstante, si se quiere seguir avanzando con la sembradora actual equipada con abre surcos, es necesario realizar algunos mejoramientos como afinar la punta del cincel debido a que éste es muy grueso y áspero, a objeto que provoquen menor fuerza de tracción.

#### *ELEMENTOS DE TAPADO DE SEMILLA*

El abre surcos de la máquina ICAT-INA tenía un diseño que no permitía por sí tapar la semilla y disponía de un elemento adicional, una cadena de 3/8 fabricada en acero de bajo carbono que por arrastre permitía el tapado de la semilla. En el desarrollo tecnológico no se ha avanzado en el diseño de tapadores adiciones a los abre surcos y dependiendo de la zona los agricultores continúan empleando sus propios métodos, entre la cadena original, una rastra de ramas, o simplemente un rodillo de palo. También si el suelo reúne la condición óptima de humedad (consistencia friable) el surco tiende a cerrarse por las propiedades cohesivas del suelo.

#### *MECANISMOS DOSIFICADORES DE SEMILLA Y FERTILIZANTE*

La sembradora JUBER, descrita anteriormente, posee un sistema de dosificación de semillas y fertilizante tradicional, denominado roldada. A pesar de sus ventajas, no ha sido posible integrarla a los modelos chilenos por su alto costo, \$90.000/unidad, por esta razón los artesanos chilenos optaron por desarrollar sus propios sistemas de dosificación basados en un agitador de caída libre, máquina Luis Vázquez de Temuco y las máquinas INDEMAF de Belisario Candida por sistema de tornillo sin fin múltiple, que tiene la ventaja de ser simple, de fácil mantención, pero presenta problemas de regulación en la homogeneidad lineal de la entrega de semilla.

#### *DESEMPEÑO OPERACIONAL*

El desarrollo tecnológico de estas máquinas, tanto las introducidas como las fabricadas en Chile, cuentan con sistema de embrague que permite cortar los flujos de semilla y fertilizantes a voluntad. Esta operación se ha simplificado, accionado directa-

mente sobre un eje primario central, a diferencia de los prototipos iniciales que era necesario accionar dos ejes: el de semilla y el de fertilizante.

Actualmente, los abre surco se han intercalado en dos líneas 2 adelante y 3 atrás, que permite un mayor área de despeje y operación con altos niveles de residuo. Asimismo, en la zona posterior del pértigo, en la unión de éste al cuerpo de la máquina, se le adicionó un tornillo regulador que permite compensar la horizontalidad de la máquina dependiendo de la altura de tiro de los animales y permite corregir el desnivel ocasionado por el cansancio de los animales.

#### **IV. ASPECTOS DE SUELO Y TOPOGRAFÍA**

Las máquinas de SD de tiro animal han venido en Chile encontrando su nicho de trabajo en predios de pequeños productores, que normalmente están ubicados en áreas agrícolas marginales, como es el caso del área del secano interior centro sur de Chile, donde se ejecuta el proyecto CADEPA. Los suelos presentan una serie de restricciones, normalmente presentan un alto contenido de arcilla y un bajo contenido de fertilidad natural, son pobres en Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Estos suelos se saturan y secan rápidamente, condición que dificulta realizar las siembras oportunamente, además, por las condiciones climáticas de la zona las siembras se deben realizar en un corto período. Por esta razón el año 2005 no se pudo completar el programa de siembras, dado que hasta el 15 de mayo los suelos estaban secos y luego empezó la lluvia por dos meses. En esta zona llueven aproximadamente 700mm/año. La lluvia se concentra en un 80% entre los meses de mayo a septiembre.

Respecto a la topografía, en el área del Proyecto CADEPA, dos tercio de los suelos de una cuenca de aproximadamente 2000has presentan pendientes superiores al 15%, situación que dificulta la operación de las máquinas y agotan más rápidamente los animales que traccionan máquinas. Los nuevos sistemas productivos y rotaciones de cultivos recomendados por INIA para la zona sugieren sembrar con cultivos anuales solo aquellos suelos que tienen menos de un 15-20% de pendiente.

#### **V. COBERTURA DEL SUELO**

En el Proyecto CADEPA se están realizando ensayos sobre la cantidad adecuada de rastrojos que deben dejarse sobre el suelo para prevenir la erosión y a la vez no obstaculicen la siembra del cultivo siguiente. También un experto de CETAPAR, Paraguay, Seki, 2005, ha sugerido realizar en el área, ensayos sobre la densidad de siembra para ver si es posible disminuir las dosis de siembra recomen-

dada actualmente (180 a 200kg/ha), debido, entre otros aspectos, que al disminuir la densidad de plantas también disminuiría automáticamente la cantidad de residuo, esto conduciría también a una disminución de trabajo del agricultor por el manejo de rastrojo, actividad que actualmente es una técnica indispensable para la cero labranza en Chile. También, se ha pensado sustituir las picadoras de residuos horizontales por picadoras de paja que giren en forma vertical y a gran velocidad y que permiten hacer más eficiente la labor de picado.

Actualmente, en el Proyecto CADEPA y de acuerdo a investigaciones de los profesores Edmundo Acevedo y Paola Silva de la Universidad de Chile, Santiago, se están dejando 2.500kg de rastrojo sobre el suelo, sobre el cual se realizan las siembras después de trigo, este nivel de residuo ha permitido una siembra adecuada con las máquinas de SD de tiro animal.

## VI. MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

Respecto de los métodos de evaluación y validación técnica estos en gran medida han sido descritos en los puntos anteriores, dado que cada modificación efectuada ha estado precedida de evaluaciones técnicas. Hoy en día el proyecto CADEPA cuenta con 6 sembradoras de SD de tiro animal, 5 de ellas de 5 hileras cada una y una sembradora de 7 hileras, que han sembrado, operada por los productores, alrededor de 10has cada una anualmente, en el proceso de evaluación han participado activamente los productores. En síntesis los productores han acogido la técnica de la SD en el proyecto CADEPA y por consiguientes las máquinas y han manifestado continuar con la utilización de esta tecnología a condición que realicen un trabajo eficiente. El efecto de la utilización de distintas máquinas sembradoras de SD sobre algunos componentes del rendimiento del trigo y su rendimiento se indica en el **Cuadro 2.27**.

Cuadro 2.27. Sembradoras de siembra directa y rendimiento del trigo, Proyecto CADEPA, 2003.

Sembradora	Dist. (cm) entre hileras	Plantas/m	Plantas/m <sup>2</sup>	Espigas/m <sup>2</sup>	Granos por espiga	QQ*/ha
JUBER tractor, Discos, 10 hileras	19.8	41.8	213	322	30	31.9
JUBER tractor, cincel, 8 hileras	17.8	41.8	237	332	27	30.7
L. Vásquez, tiro animal, cincel, 7 hileras	19.5	20.7	108	255	32	28.9
INDEMAF, animal, cincel 5 hileras	18.9	45.7	249	310	31	29.5

\* QQ = 0,1 tt

Del punto de vista de los costos totales de operación de las máquinas involucradas para SD se presentan a continuación los resultados. En el **Cuadro 2.28** se entregan antecedentes básicos a partir de los cuales se estiman estos costos. El costo total de operación se calculó como la suma los costos directos variables más los costos fijos directos por hora, definidos para un nivel de uso determinado anual de cada máquina, **Cuadros 2.29** y **2.30**. La

determinación del nivel de uso anual de las máquinas como se muestra en el **Cuadro 2.30**, incide decisivamente en el costo de uso de la maquinaria. Por tanto, para estimar los costos más objetivos y por consiguiente los precios más exactos de los servicios deberían elaborarse una planificación sobre el uso anual de cada máquina que se cumpla en la medida de lo posible.

**Cuadro 2.28.** Maquinaria agrícola para siembra directa, Proyecto CADEPA, valores a mayo de 2005.

Maquinarias e implementos	Valor sin IVA	Valor final % valor inicial	Vida útil horas	Depreciación \$/hora
Tractor 70HP New Holland	8630961	30%	15000	403
Sembradora de enganche integral al tractor de 7 hileras Vence Tudo	3386303	20%	3750	722
Sembradora Tracción animal de 5 hileras INDEMAF	2000000	20%	2500	640
Sembradora Tracción animal de 7 hileras L. Vásquez	2754237	20%	2500	881

**Cuadro 2.29.** Costos variables y costos fijos anuales por utilización de maquinaria y equipos agrícolas en siembra directa, Proyecto CADEPA, 2005.

Costos Variables, \$/hora	T70HP	S7TR	S5TA	S7TA
Depreciación lineal	403	772	640	881
Petróleo	3991			
Bencina				
Aceite motor	73			
Aceite caja diferencial	43			
Grasa	5			
Filtro aceite	32			
Filtro combustible	16			
Filtro hidráulico	34			
Mantenimiento y reparación	1079	1016	600	826
Operador	500		500	500
Yunta bueyes y operario			1750	1750
Subtotal	6174	1738	3490	3958
Imprevistos (5%)	309	87	175	198
Total Costos Variables	6483	1825	3665	4156
Costos Fijos Directos, \$/año				
Seguro (2%valor/2)	112202	40636	24000	33051
Interés (1.54%valor/2)	86396	26075	18480	25449
Total Costos Fijos Directos	198598	66710	42480	58500

REF: T70HP: Tractor 70HP New Holland; S7TR: Sembradora de 7 hileras Vence Tudo; S5TA: Sembradora de 5 hileras INDEMAF; S7TA: Sembradora de 7 hileras L. Vásquez.

El costo total por hora de trabajo, se basó en el uso anual de las máquinas; 200 horas del tractor de 70HP, 150 horas de la sembradora de enganche integral Vence Tudo y 100 horas de trabajo de las sembradoras de 5 y 7 hileras de tiro animal (**Cuadro 2.30**).

Los costos de los servicios de maquinaria agrícola (**Cuadro 2.31**), se obtuvieron a partir de la relación siguiente: Costo servicio maquinaria agrícola (CSMA), \$ = Costo uso maquinaria agrícola (CUMA) \$/hr x capacidad efectiva de trabajo de la maquinaria (CETM), hr x ha. El costo horario de uso de la maquinaria agrícola fue determinado para el nivel de uso

anual estimado de las máquinas y equipos en el proyecto CADEPA durante el año 2004. La capacidad efectiva de trabajo esta referida al promedio de tiempo utilizado en cada labor en el mismo proyecto. Sin embargo, los valores de capacidad efectiva de trabajo, por factores de tamaño del potrero a trabajar, topografía, textura del suelo y otros son variables, y puede resultar engañoso para un agricultor cancelar una tarifa obtenida a partir de un promedio general. Una solución es medir el tiempo efectivo de trabajo realizado en cada predio y determinar su costo particular; esto resultaría más justo para todos.

Adicionalmente, al costo total calculado, habría que sumar el costo de traslado (ida y regreso) del equipo desde su lugar de permanencia en el sector hasta el lugar de trabajo. Este valor debería estar referido al costo de los equipos de tracción y mano de obra; para su cálculo bastaría con determinar el tiempo de traslado y asignarle el valor referido al costo horario que se ha definido en este estudio ( **Cuadro 2.30**).

El proyecto CADEPA dispone de al menos cuatro alternativas para realizar SD en el secano interior, siendo

la más económica la que se realiza con la sembradora de 7 hileras de tiro animal, a condición que esta se realice en 6 horas de trabajo. Los costos de operación de las máquinas de tiro animal son considerados muy altos por los productores y necesariamente se deben hacer esfuerzos por bajarlos. Asimismo, si se considera el tiempo de traslado de estas máquinas, que son demasiado lentas, los costos de operación suben aún más. Una solución, entre otras, sería bajar los costos de tracción de los animales, pero los agricultores no han estado dispuestos a ello.

**Cuadro 2.30.** Costos variables, fijos y totales según nivel de uso anual, maquinaria agrícola, Proyecto CADEPA, 2005.

	T70HP	S7TR	S5TA	S7TA
<b>Costos variables, \$/hr</b>	6.483	1825	3665	4156
<b>Costos fijos, \$/año</b>	198598	66710	42480	58500
<b>Costo total</b>	\$/hr			
<b>Uso anual maquinaria, hs/año</b>				
5	46203	15167	12161	15856
10	26343	8496	7913	10006
15	19723	6272	6497	8056
25	14427	4493	5364	6496
50	10455	3159	4515	5326
100	8469	2492	4090	4741
150	7807	2270	3948	4546
200	7476	2159	3877	4449
500	6880	1958	3750	4273
750	6748	1914	3722	4234

REF: T70HP: Tractor 70HP New Holland; S7TR: Sembradora de 7 hileras Vence Tudo; S5TA: Sembradora de 5 hileras INDEMAF; S7TA: Sembradora de 7 hileras L. Vásquez.

**Cuadro 2.31.** Costos totales (\$/ha) de servicios de maquinaria agrícola para siembra directa, Proyecto CADEPA, 2005.

Labores/Equipos	Acondicionamiento de rastrojo		Manejo de rastrojo hilerado RDSS	Siembra Directa		
	CR2E	CRTA		S7TR	S5TA	S7TA
Capacidad efectiva de trabajo hs/ha	1	4	1	2.2	7	6
T70HP	7426			16337		
RDSS			783			
CR2E	723					
CRTA		20100				
S7TR				18184		
S5TA					33187	28446
<b>Total \$/ha</b>	<b>8149</b>	<b>20100</b>	<b>9773</b>	<b>34521</b>	<b>33187</b>	<b>28446</b>

REF: T70HP: Tractor 70HP New Holland; RDSS: Girasol BRONCO; CRTA: Rana tiro animal INDEMAF; S7TR: Sembradora de 7 hileras Vence Tudo; S5TA: Sembradora de 5 hileras INDEMAF; S7TA: Sembradora de 7 hileras L. Vásquez.

## VII. CONCLUSIONES

Para mejorar la sembradora de cero labranza de tiro animal INDEMAF y aumentar su eficiencia sería necesario:

- Agudizar los cinceles.
- Eliminar asperezas de los cinceles.
- Equipar todas las máquinas con cinceles adosados a un cuadro metálico de base, es también deseable que estos funcionen de manera más independiente.
- Reemplazar los tubos plásticos de caída de semilla por tubos de de gomas que son más flexibles.
- Efectuar pruebas cooperativas con maquinarias desarrolladas en otros países vecinos.
- Establecer un programa de desarrollo a largo plazo, que incluya el suministro de repuestos a un precio adecuado.

El proyecto CADEPA dispone de al menos cuatro alternativas para realizar SD en el secano interior. Los menores costos operativos se obtienen con la sembradora de 7 hileras de tiro animal, a condición que esta realice la labor de siembra en 6 horas.

La falta de especificaciones técnicas de las máquinas de tiro animal son un serio problema para definir ciertos indicadores, como la vida útil, que incide en el cálculo de los costos directos y por consiguiente en los costos totales de operación de estas máquinas.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, E. y SILVA, P. 2003. *Agronomía de la Cero Labranza*. Serie Ciencias Agronómicas, N° 10, Universidad de Chile. 132p.

DEL POZO, A.; RIQUELME, J.; JELDRES, D. y ALIAGA, C. 1993. *Pérdidas de suelo por erosión hídrica en tres sistemas en el Secano Interior de la Zona Mediterránea de Chile*. In: Encuentro Latino Americano sobre Platio Direto na Pequena Propiedade,

IBÁÑEZ, M. y ROJAS, E. 1994. *Costo de operación y producción por concepto de maquinaria agrícola*. Boletín N 27, Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile. 43p.

IBÁÑEZ, M. y ROJAS, E. 1994. *Justificación eco-*

*nómica del uso de maquinaria agrícola*. Boletín N27, Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile. 58p.

MERTEN, G. y RIQUELME, J. 2001. *Desarrollo rural sustentable*. In: Curso internacional manejo de microcuencas y prácticas conservacionistas de suelo y agua. Serie Actas INIA. pp.25-36.

OVALLE, C. y DEL POZO, A. 1994. *La agricultura del secano interior*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Experimental Cauquenes, Chile. 234p.

RIQUELME, J. 1986. Multicultor FAMA-E-INIA. *Investigación y Progreso Agropecuario*. La Platina, Chile (33): 31-33.

RIQUELME, J. y KREFT, J. 1994. Ficha técnica. *Sembradora de cero labranza de tiro animal*. Investigación y Progreso Agropecuario, Quilamapu. N°60:37-38.

RIQUELME, J. 2001. *Mecanización apropiada para la siembra directa de los pequeños agricultores en el Cono Sur de América*. In: Siembra Directa en el Cono Sur, PROCISUR, Montevideo. pp.419-425.

RIQUELME, J.; PÉREZ, C. y YOSHIKAWA, S. 2004. *Manejo y prácticas conservacionistas del suelo para un desarrollo sustentable del Secano*. Boletín INIA N° 124. Versión Digital. INIA Quilamapu. Chillán. 200p. en: <http://www.inia.cl/proyctocadepa/home.htm>

RUIZ, C.; RODRIGUEZ, N. y YOSHIKAWA, S. 2004. *Manejo de Cultivos en Cero Labranza*. In: Riquelme, J.; Pérez, C.; Yoshikawa, S. 2004. Manejo y prácticas conservacionistas del suelo para un desarrollo sustentable del Secano. Boletín INIA N° 124. Versión Digital. INIA Quilamapu. Chillán. 200p. en: <http://www.inia.cl/proyctocadepa/home.htm>

SEKI, Y. 2005. *Informe sobre las actividades realizadas en el Proyecto CADEPA. Informe Interno Proyecto CADEPA*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Quilamapu, Chillán Chile.

SMITH, D.; SIMS, B. y O'NEIL. 1994. *Principios y Prácticas de prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas*. Boletín de servicios agrícolas de la FAO N° 100, Roma. 274p.

YASHIRO, M. 2003. *Informe de Actividades, Asesoría Técnica en Maquinarias Agrícolas; Informe Interno Proyecto CADEPA*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Quilamapu, Chillán, Chile.

# EVALUACIÓN INICIAL DE SEMBRADORAS ABONADORAS PARA SIEMBRA DIRECTA EN PEQUEÑAS PROPIEDADES

Charla presentada en el Reunión Técnica  
Internacional Relación Sembradora Suelo  
en el Sistema de Siembra Directa  
Problemas y Soluciones,  
del 6 al 7 de diciembre de 2005,  
en Passo Fundo, Brasil  
Promovido por PROCISUR – EMBRAPA

*por Francisco Javier Vallejos Mernes;  
Milcíades Gómez  
MAG / DIA / IAN, Paraguay  
Magín Meza  
MAG / DEAg, Paraguay*

## I. INTRODUCCIÓN

Los resultados presentados son parte de la actividad de «Evaluación del desempeño de maquinarias e implementos de siembra directa (SD) para pequeñas propiedades» del Programa de Investigación de «Manejo, Conservación y Recuperación de Suelos», realizado en el Instituto Agronómico Nacional (IAN), dependencia de la Dirección de Investigación Agrícola (DIA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y la colaboración del Programa

Nacional de Manejo, Conservación y Recuperación de Suelos de la Dirección de Extensión Agraria (DEAg).

Los principales objetivos de la evaluación son: realizar un seguimiento de los equipamientos proveídos por el Programa de Diversificación de la Agricultura Familiar (PRODAF) para apoyar con información a los extensionistas y agricultores beneficiados por

el programa y auxiliar en la adquisición de equipamientos previstos en otros programas de desarrollo rural.

Fueron evaluadas las siguientes características: facilidad de transporte, maniobrabilidad, facilidad y exactitud de la regulación y mantenimiento.

Los equipamientos evaluados fueron:

- La sembradora abonadora manual, de dos picos para SD, modelo N°9, marca Fitarelli.
- La sembradora abonadora de una hilera a tracción animal, para SD, marca Tritón – Ryc.
- La sembradora abonadora de dos hileras a tracción animal, para SD, marca Fitarelli.

## II. PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS

### *SEMBRADORA ABONADORA MANUAL, DE DOS PICOS PARA SIEMBRA DIRECTA, MODELO N°9, MARCA FITARELLI.*

Son sembradoras leves, que poseen dos puntas estrechas y afiladas, de hierro de 2mm, con la finalidad de reducir la fuerza necesaria para el corte de la paja y la penetración en el suelo. La presencia en cada punta de un refuerzo de acero templado facilita la operación y la durabilidad del equipo.

El sistema dosificador de fertilizantes permite regulaciones que van de 0 a 20gr por hoyo. Facilitaría la dosificación la presencia de marcas de referencia, de 5 en 5gr por ejemplo, realizadas con un abono de referencia, la formula 15-15-15 por ejemplo. La base del depósito de fertilizantes y su tubo de bajada son de plástico, lo que aumenta su durabilidad.

El sistema dosificador de semillas debería desarrollarse para permitir la siembra de granos gruesos, principalmente de *Canavalia* sp.

### *SEMBRADORA ABONADORA DE UNA HILERA A TRACCIÓN ANIMAL, PARA SIEMBRA DIRECTA, MARCA TRITÓN – RYC.*

La sembradora Tritón - Ryc posee un sistema de levante que se apoya en dos pares de ruedas para transporte y maniobras, ubicadas en el frente y en el centro, lo que facilita su operación.

Presenta cuatro posiciones para la regulación de la altura del punto de enganche, también un surcador con un ángulo de ataque reducido, lo que mejora su capacidad de penetración en el suelo. El disco de cor-

te opera entre las dos ruedas delanteras, facilitando la acción del corte de la paja y aumentando su penetración en el suelo cuando se altera la altura del punto de enganche.

Los fertilizantes y las semillas se depositan en el suelo, en el mismo surco abierto por el surcador, lo que puede ocasionar problemas de contacto de fertilizantes y semillas. El sistema de dosificación del fertilizante es accionado y regulado por engranajes y cadenas, con apenas un cambio de posición de engranajes en la sembradora evaluada, insuficiente cuando se requieren cantidades pequeñas de abonos. La dosificación también se realiza, pero de manera muy limitada, abriendo o cerrando una abertura ubicada sobre una rosca sin fin. La dosificación de las semillas se regula con un sistema de engranajes y cadenas, sin opciones en la sembradora evaluada y cambiando los discos dosificadores de tipo universal. El tamaño de los depósitos de semillas y fertilizantes le otorga una buena capacidad operacional al equipo.

La sembradora tiene un sistema de regulación de la altura de la manquera que podría ser mejorado.

### *SEMBRADORA ABONADORA DE DOS HILERAS A TRACCIÓN ANIMAL, PARA SIEMBRA DIRECTA, MARCA FITARELLI.*

La sembradora de dos hileras Fitarelli requiere de dos bueyes para su tracción. No posee disco de corte ni surcador, sólo un disco doble desencontrado para el corte de la cobertura y la apertura del surco. El operador debe ir sentado en ella para aumentar el peso de la máquina y su capacidad de penetración en el suelo.

La dosificación de las semillas se realiza con un sistema de piñones y corona, el ajuste de la posición de la corona puede ser complicado, requiere de una marca de referencia para ubicar el orificio donde se ajusta el tornillo. Los discos dosificadores de semillas son del tipo universal y para varios tipos de semillas. Es necesario que la información para la regulación disponible en el folleto técnico se presente de manera más gráfica y práctica para facilitar su comprensión.

El dosificador de los fertilizantes es del tipo rotor dentado y el abono es depositado sobre la superficie del suelo, siendo incorporado levemente por el disco doble de la semilla. Las opciones de rotores permiten cantidades que van desde aproximadamente 60kg/ha de fertilizante.

Debería incluirse como accesorio un juego de llaves para facilitar el trabajo del operador durante la regulación de la sembradora.

# SEBRADORAS EXPERIMENTALES PARA INVESTIGACIÓN EN SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA, EN EMBRAPA TRIGO

*por Arcenio Sattler  
Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, Brasil*

## I. RESUMEN

El creciente aumento de la adopción del sistema de siembra directa (SD) en la década de 1980 en la región sur de Brasil, creó nuevas demandas para la investigación agrícola. Como consecuencia, las actividades de mejoramiento genético de plantas y experimentos correlacionados con el sistema agrícola productivo de granos, necesitan ser conducidos bajo ese sistema. La inexistencia de equipos adecuados a las condiciones agrícolas de la región, llevó a EMBRAPA Trigo a transformar y desarrollar sembradoras para SD de parcelas experimentales. Con el pasar de los años, adaptaciones, transformaciones y prototipos de sembradoras fueron desarrollados, testeados, validados y puestos a disposición en el mercado. Se presenta en este trabajo una síntesis del desarrollo de sembradoras y adaptaciones para el establecimiento de parcelas experimentales en SD.

## II. SEMBRADORAS PARA SIEMBRA DIRECTA DE PARCELAS EXPERIMENTALES

Portella *et al.* (1986), presentaron un primer prototipo desarrollado, basado especialmente en los trabajos realizados por Oyjord (1963) y por Cobb *et al.* (1977). Las investigaciones en adaptación y desarrollo de equipos para SD de parcelas experimentales prosiguieron. Se ejecutaron cambios en el proyecto inicial y nuevos mecanismos y dispositivos fueron desarrollados y paulatinamente incorporados, resultando en tres modelos básicos de prototipos de sembradoras para investigación agrícola en SD. Los prototipos desarrollados fueron: sembradora para SD de ensayos de competición de cultivos de cereales de invierno; sembradora para SD de experimentos y de progenies de soja; y sembradora para SD de experimentos en fertilidad del suelo. Las sembradoras fueron proyectadas y construidas para operar montadas en tractores de baja y media potencia (35 a 80 HP). La versatilidad de esos equipos permitió la conducción de estudios en SD,

en las diferentes áreas de investigación agronómica para la producción de granos: mejoramiento genético; competición de cultivares; multiplicación de semillas; manejo de la fertilidad del suelo; rotación de cultivos y sistemas de producción. El desarrollo de esos tres modelos de sembradoras experimentales viabilizó la instalación en SD, de variados experimentos agronómicos con cultivos productores de granos (cereales de invierno y soja) conducidos por EMBRAPA Trigo, en el sur de Brasil. Los modelos permiten instalar desde simples modelos de competición de cultivares hasta experimentos complejos con combinaciones de cultivos, fertilizantes y correctivos de acidez del suelo en diferentes condiciones de suelo (tipo y humedad), de rastrojos (especie, volumen y manejo) y de sistemas de producción (cultivo y campo natural). Este trabajo culminó en 1999 con el lanzamiento al mercado, en sociedad con la empresa Semina Ltda, de dos versiones comerciales.

#### *SEMBRADORA PARA SIEMBRA DIRECTA DE EXPERIMENTOS CON CEREALES DE INVIERNO.*

Proyectada y desarrollada para la instalación de parcelas experimentales en SD. Es posible instalar parcelas experimentales que pueden variar de dos hasta seis líneas, con un largo de hasta 1m. Las parcelas pueden ser de veinte longitudes distintas, variando entre un mínimo de 3m a un máximo de 11m. Realiza la distribución de fertilizantes granulados, simultáneamente con la operación de siembra. Sembradora montada, para el acoplado de tractores de baja potencia (40 HP). Usa como elemento rompedor del suelo el sistema de discos dobles desencontrados. El mecanismo dosificador de semillas está compuesto por un distribuidor Oyjord con diámetro de 25cm (**Figura 2.32**).



**Figura 2.32.** Sembradora Siembra Directa cereales invierno

#### *SEMBRADORA PARA SIEMBRA DIRECTA DE EXPERIMENTOS Y DE PROGENIES.*

Sembradora montada, para el acoplado a tractores de media potencia (70 HP) (**Figura 2.33**). Para romper el suelo, se puede optar por el uso de combinaciones de distintos elementos rompedores en la línea de siembra y de fertilización; combinación 1: compuesta por un conjunto de discos dobles desencontrados; combinación 2: compuesta por dos conjuntos de discos dobles desencontrados; combinación 3: compuesta por disco de corte + un conjunto de discos dobles desencontrados; combinación 4: compuesta por disco de corte + dos conjuntos de discos dobles desencontrados; combinación 5: compuesta por disco de corte + cuchilla surcadora + disco doble desencontrado. La sembradora tiene un largo útil de 1,58m para fijación de las líneas de siembra, con regulación continua de espaciamiento. El número de líneas puede ser variable, desde un mínimo de dos a un máximo de ocho, limitando el largo útil de la sembradora y el espaciamiento mínimo de 20cm entre las líneas.

Realiza la distribución de fertilizantes granulados, simultáneamente a la operación de siembra. Permite tres opciones para la dosificación de semillas. Usando un dosificador Oyjord, se puede sembrar un genotipo por pasada de la sembradora. En esa opción, la sembradora puede ser regulada para veinte longitudes diferentes de parcela, variando de 2,9m hasta un máximo de 13m. Usando dos dosificadores Oyjord, sincronizados, se pueden sembrar dos genotipos simultáneamente, sin riesgo de ocurrir una mezcla. También en esa opción, veinte longitudes distintas de parcela pueden ser seleccionadas, entre un mínimo de 2,2m y un máximo de 10,2m. Se puede, también, transformar el prototipo en una sembradora de flujo continuo para sembrar pequeñas multiplicaciones de semillas.



**Figura 2.33.** Sembradora para siembra directa de experimentos y de progenies

### **SEBRADORA PARA SIEMBRA DIRECTA DE PARCELAS EXPERIMENTALES CON ESTUDIOS DE FERTILIDAD DE SUELO.**

Especialmente proyectada para ejecutar trabajos de investigación en fertilidad de suelo bajo el sistema de SD (**Figura 2.34**). Más allá de presentar todas las características del prototipo anterior, permite la distribución simultánea de hasta cinco productos distintos, pudiendo combinar dosis de semillas con dosis de fertilizantes. Ej.: dos tipos de semillas (cereal + forrajera) con tres fertilizantes o correctivos (fuente de fósforo + fuente de nitrógeno + correctivo de acidez del suelo, en forma de polvo). El prototipo fue testeado en la instalación de numerosos experimentos, en diversas condiciones de suelo y de cobertura vegetal en SD, inclusive bajo condiciones de campo natural.

La sembradora puede ser regulada para catorce longitudes diferentes de parcela, variando de un mínimo de 4,9m hasta un máximo de 17,025m.



**Figura 2.34.** Sembradora para siembra directa de parcelas experimentales con estudios de fertilidad de suelo

### **SEBRADORA PARA SIEMBRA DIRECTA DE PARCELAS EXPERIMENTALES - SEMINA II - VERSIÓN TRIGO.**

Proyectada y desarrollada para la instalación de parcelas experimentales en SD, puede variar desde dos a seis líneas de sembradora. Disponible en el mercado a través de la sociedad Embrapa Trigo y la empresa Semina Ltda. Principales características: largo total: 1,49m; largo útil: 0,88m; conjunto con dos dosificadores (Oyjord) sincronizados que pueden ser usados individualmente o simultáneamente para siembras de dos materiales distintos; dosificador de fertilizante tipo rotor dentado vertical (regulación continua de salida); longitud de parcelas de 2,5m a 7m (regulación continua); dos a cinco líneas de plantas; elemento rompedor de suelo tipo disco doble desfasado + compactador. Se presenta como opcional la posibilidad de sexta línea de siembra y reservorio de semillas (15l) para siembras en flujo continuo, para pequeñas áreas o multiplicación de semillas (**Figura 2.35**).



**Figura 2.35.** Sembradora para siembra directa de parcelas experimentales - SEMINA II - versión trigo

### **SEBRADORA PARA SIEMBRA DIRECTA DE PARCELAS EXPERIMENTALES - SEMINA I - VERSIÓN MÚLTIPLE.**

Proyectada y desarrollada para la instalación de parcelas experimentales en SD, que puede variar desde dos a nueve líneas de siembra. Disponible en el mercado a través de la sociedad Embrapa Trigo y la empresa Semina Ltda. (**Figura 2.36**).

Principales características: largo total 2,29m; largo útil 1,6m; dosificador de semillas tipo Oyjord; dosificador de fertilizante tipo rotor dentado vertical (regulación continua de salida); longitud de parcela de 2.5m a 15.0m (regulación continua); dos a nueve líneas de plantas; elementos rompedores del suelo con 4 opciones de ensamble: opción 1: disco doble desfasado + compactador; opción 2: disco doble desfasado + disco doble desfasado + compactador; opción 3: disco de corte + disco + compactador; opción 4: disco de corte + cuchilla + disco doble desfasado + compactador.



**Figura 2.36.** Sembradora para siembra directa de parcelas experimentales - SEMINA I - versión múltiple

En ésta versión se presenta como opcional: conjunto con dos dosificadores (Oyjord) sincronizados para siembra simultánea de dos materiales distintos (**Figura 2.37**); conjunto con hasta seis dosificadores (Oyjord) sincronizados para siembra simultánea e individualizada (línea por línea) de plantas, espigas o panículas (**Figura 2.38**); reservorio de semillas (15l) para siembra en flujo continuo(**Figura 2.39**), para pequeñas áreas o multiplicación de semillas conjunto dosificador de semilla neumático, para siembra individualizada (grano a grano) (**Figura 2.40**).



Figura 2.37. Dosificador doble sincronizado

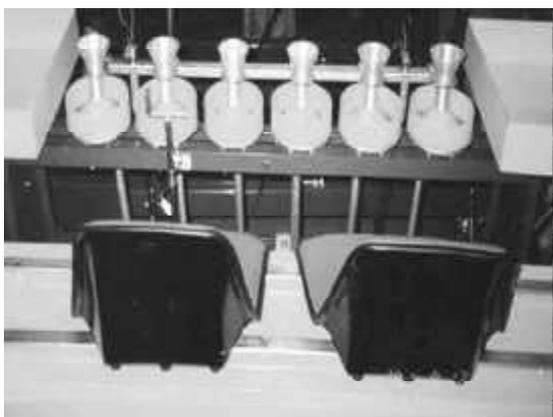


Figura 2.38. Dosificador para línea individualizada

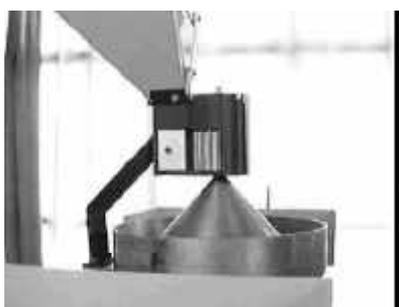


Figura 2.39. Dosificador para flujo continuo



Figura 2.40. Dosificador neumático

### III. SEMBRADORAS AUTOPROPULSADAS ADAPTADAS/TRANSFORMADAS PARA SIEMBRA DIRECTA DE PARCELAS EXPERIMENTALES

Las sembradoras autopropulsadas, originalmente proyectadas para sembrar parcelas experimentales, en suelos preparados, fueron adaptadas para trabajar en SD. Las primeras tentativas, en 1986, de adaptación de sembradoras experimentales fueron realizadas, utilizando resortes helicoidales para transferir la fuerza vertical a los elementos rompedores del suelo. Estas fueron montadas en un chasis autopropulsado, modelo "plotman", sin obtener un desempeño satisfactorio. El principal problema detectado fue la variación en la intensidad de la fuerza vertical transferida al elemento rompedor del suelo en virtud de la oscilación vertical de las líneas de siembra, impidiendo la obtención de uniformidad de profundidad en la abertura del surco de siembra. Para superar el problema, en 1987, se empleó un sistema neumático, rudimentario, para transferir, a los elementos rompedores del suelo, la fuerza vertical necesaria para el corte del rastrojo y la abertura del surco de siembra. En los años 1990, este tipo de adaptación/transformación fue mejorando, basado en los estudios de neumática, conducidos por Sattler (1991 y 1992). Equipos adaptados fueron monitoreados en la instalación de experimentos sobre rastrojo de soja (*Glycine max*) cosechada y sobre veza o vicia (*Vicia sativa*) desecada, observándose un desempeño satisfactorio en la SD de trigo (*Triticum aestivum*) y de maíz (*Zea mays*). Los circuitos neumáticos usados fueron eficientes para transferir, a los elementos rompedores del suelo, la fuerza vertical necesaria para el corte de la paja y la abertura de los surcos de siembra, donde se puede concluir que sembradoras experimentales, idénticas o similares a las usadas en estos estudios, pueden ser adaptadas para realizar SD, sin grandes pérdidas de precisión. A continuación se presenta la adaptación realizada en dos sembradoras autopropulsadas, para uso en SD de parcelas experimentales.

#### SEBRADORA AUTOPROPULSADA, MODELO "PLOTMAN", ADAPTADA.

En este equipo (**Figura 2.41**), los surcadores originales fueron sustituidos por elementos rompedores del suelo específicos para SD. Fueron usados, como elementos rompedores del suelo, conjuntos de discos dobles desencontrados. El porta-herramientas fue re-proyectado para la fijación de los elementos rompedores. Para transferir la fuerza vertical a los elementos rompedores del suelo, se usó un circuito neumático compuesto por: compresor de aire, reservorio principal, válvula direccional, reservorio intermediario, válvula de alivio, cilindros, tubos y conexiones.



Figura 2.41. Sembradora autopropulsada, modelo "plotman", adaptada

#### SEBRADORA AUTOPROPULSADA, MODELO "PLOTSPIDER", ADAPTADA.

En este equipo (**Figura 2.42**), los mecanismos dosificadores de semillas fueron elevados en 30cm para permitir la fijación de los nuevos rompedores del suelo. Para hacer el corte del rastrojo, se empleó un disco de corte plano y liso de 40,6cm de diámetro y para colocar las semillas en el surco de siembra, un cuchillo de espesor reducido. Para transferir fuerza vertical a los elementos rompedores del suelo, se usó el mismo circuito neumático empleado en el equipo anterior.



Figura 2.42. Sembradora autopropulsada, modelo "plotspider", adaptada

#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COBB, D.L.; DOYLE, B.L.; WEBSTER, J.A.; SMITH, Jr.D.H. and RIES, D.K. 1970. *Rear-mounted planter for small grain yield trial*. Agron. J., Madison. 62: 682-4.

OYJORD, E. 1963. *An universal experimental seed drill*. J. Agric. Eng. Res., London, 8: 85-7.

PORTELLA, J.A., FAGANELLO, A., SATTTLER, A., NEDEL, J.L. e ANNES, H.O. 1986. *Desenvolvimento de sembradoras para plantio direto de parcelas experimentais*. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT. 28p. (EMBRAPA-CNPT. Doc., 1).

SATTTLER, A. 1991. *Self-propelled seeder for experimental plots in no-tillage*. In: INTERNATIONAL TRITICALE SYMPOSIUM, 2, 1990, Passo Fundo. Proceedings of de second... México, D.F.: CIMMYT. 725p. pp.580-582.

SATTTLER, A. 1992. *Controle automatico da profundidade de sementeira*. Campinas. UNICAMP. 1992. 98p. Disertação (Maestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola. Univ. Estadual de Campinas.



# OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS AGRÍCOLAS PRODUCTIVOS Y LA FERTILIDAD INTEGRAL DEL SUELO

## ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA ESTRUCTURA\*

*por José Eloir Denardin;  
Rainoldo Alberto Kochhann  
Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, Brasil.  
Norimar D'Ávila Denardin  
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária,  
Universidade de Passo Fundo, Brasil*

### I. INTRODUCCIÓN

La desenfadada búsqueda de incrementos de productividad, basada en el concepto de fertilidad del suelo, viabilizada por parámetros químicos y por el uso intensivo de fertilizantes minerales, conducida como estandarte desde la "revolución verde" y responsable por el lanzamiento de políticas de subsidios a esos insumos como alternativa-solución para el mantenimiento de la competitividad de la agricultura, nítidamente perdió fuerza y está siendo sustituida por la implementación de las directrices de la

agricultura conservacionista, escenario donde la ampliación del concepto de fertilidad del suelo y el ambiente, asumen importancia. La optimización de sistemas agrícolas productivos, basados en la gestión incompatible con la promoción de la fertilidad física, química y biológica del suelo y descomprometida con el equilibrio dinámico del agroecosistema y su entorno, sin duda, se muestra desincronizada ante la permanente expectativa de alcance de una agricultura tendiente a la sustentabilidad.

---

\* Adaptado del trabajo presentado en el Workshop "Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros", realizado en Aracaju, SE, del 28 al 30 de noviembre de 2001, y el trabajo presentado en el 3er Congreso Brasileiro de Mejoramiento de Plantas, realizado en Gramado, RS, del 9 al 12 de mayo de 2005.

En este contexto, la ampliación de la base conceptual de la fertilidad del suelo, donde la estructura de éste desempeña un papel determinante de la expresión del potencial del factor suelo, la cantidad y calidad del carbono orgánico generado, parámetros de esencial e indiscutible acción en la estructuración del suelo, junto con el secuestro del carbono orgánico, proceso de proclamado y esperados beneficios a la atmósfera, constituyen una referencia para la gestión de sistemas agrícolas productivos. Bajo este enfoque, es evidente que las características estructurales de las plantas (calidad y cantidad de biomasa) están reservadas a la calidad y la cantidad de carbono orgánico producido, parámetros responsables de la calidad estructural del suelo y de la definición del estándar de la fertilidad física, química y biológica del suelo. La integración de este trinomio, para la promoción de la fertilidad integral del suelo, está indisociablemente, vinculada al modelo de producción establecido, que a su vez, es dependiente de las características comportamentales de las plantas cultivadas.

El objetivo de ésta disertación es promover, en el ámbito de implementación de un programa de desarrollo del sistema de siembra directa (SSD) en el estado de São Paulo, preocupaciones concernientes al moderno enfoque de gestión conservacionista y ambiental de los sistemas agrícolas productivos, donde la técnica de barbecho de las tierras, cuya premisa es que la recuperación de la fertilidad integral del suelo sea promovida por la vegetación espontánea, se puede reproducir y optimizar en modelos de producción que viabilicen el proceso concatenado e ininterrumpido de cosechar-sembrar.

## II. EL SISTEMA AGRÍCOLA PRODUCTIVO

Con la intención de destacar la importancia del papel reservado a las plantas en la producción de carbono orgánico y, por lo tanto, en la estructuración del suelo y en la construcción de la fertilidad integral del suelo, en el contexto de una agricultura que tiende a la sustentabilidad, es imprescindible conceptualizar el sistema agrícola productivo y distinguirlo del modelo de producción.

El sistema agrícola productivo se entiende como la interacción de los factores ambiente, planta y suelo, donde el factor ambiente participa con el potencial energético, el factor planta con el potencial genético y el factor suelo con la fertilidad potencial (**Figura 2.43**). Así, la productividad agrícola, es decir, la cantidad de producto generado por unidad de área, es el resultado integrado del sistema agrícola productivo, de manera que no tenga sentido referirse en forma aislada a la productividad del ambiente, a la productividad de la planta o a la productividad del suelo, puesto que no existe generación de producto en ausencia de cualquiera de estos factores o sin la interacción de ellos. La interacción de estos factores determina que la productividad del sistema agrícola no pueda ser mayor que aquella potencializada por el factor más limitante, siendo esta la llamada "ley de los factores limitantes". Ejemplificando: ninguna interferencia en el factor ambiente o en el factor planta, con vistas a aumentar la productividad del sistema agrícola productivo ocasionará efecto si el factor suelo se encuentra en el límite de sus potencialidades. De este modo, es posible deducir que el manejo de un sistema agrícola productivo se basa en la exploración de las potencialidades de los factores de producción que la componen.

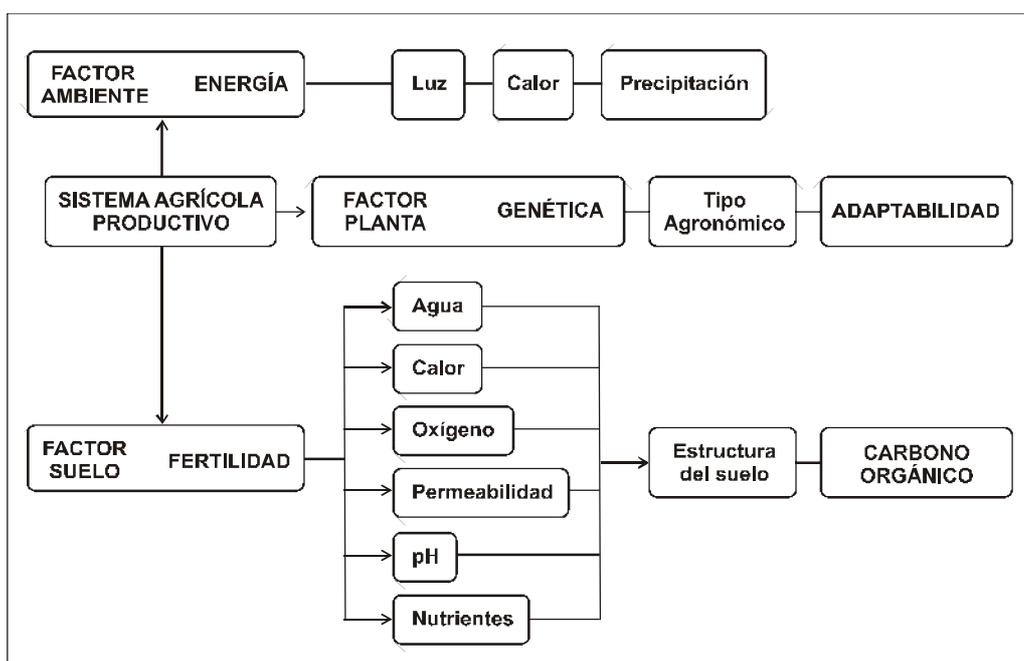


Figura 2.43. Estructura conceptual del sistema agrícola productivo.

El modelo de producción comprende el arreglo temporal y espacial de las especies vegetales y/o animales que componen los sistemas agrícolas productivos.

### III. SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA DEL AGROECOSISTEMA

Los ecosistemas naturales, interpretados como el conjunto de relaciones mutuas entre fauna, flora y microorganismos, como resultado de la interacción de factores geológicos, atmosféricos y meteorológicos, constituyen, desde el punto de vista de la termodinámica, un sistema abierto, con flujos de energía y de materia dinámicamente equilibrados. Interferencias antrópicas, con fines agrícolas, modifican la dinámica de esos flujos de energía y de materia, transformando ecosistemas en agroecosistemas. Así, los agroecosistemas, representados convencionalmente por las propiedades rurales, son ecosistemas bajo interferencia antrópica, en permanente y estrecha relación con los sistemas de las interfaces.

El carácter de sustentabilidad que se pretende dar a los agroecosistemas, fundamentado en la competitividad del agronegocio, atendiendo las necesidades socioeconómicas, la seguridad alimenticia de la humanidad y la preservación de los recursos naturales, está en la dependencia del logro de un nuevo equilibrio dinámico de los flujos de entrada y salida de energía y de materia del sistema y la consecuente calidad de las relaciones establecidas con los sistemas del entorno. Como resultado, elementos indicadores de la sustentabilidad de un agroecosistema pueden ser representados por parámetros que expresan el grado de organización y de disciplina de los procesos implicados en el sistema y de la calidad resultante de las relaciones con los sistemas vecinos. En este contexto, los flujos de materia y de energía asociados al ciclo hidrológico, se destacan como los indicadores más evidentes de la sustentabilidad de un agroecosistema, en consecuencia de la elevada sensibilidad que presenta la interacción de los factores geológicos, atmosféricos, meteorológicos y antrópicos. Sin duda, este comportamiento, termodinámicamente abierto de los agroecosistemas, implicando complejos e integrados flujos de energía y de materia, esencialmente emanados del ciclo hidrológico, justifica la contextualización de la agricultura conservacionista, con el carácter de sustentabilidad, en el ámbito de la cuenca hidrográfica.

La fertilidad integral del suelo, es un excelente indicador del carácter de sustentabilidad de los agroecosistemas, dado que está asociado a la dinámica de los flujos de adición y de mineralización

del carbono orgánico, como resultado del manejo establecido por el hombre y aplicado al sistema agrícola productivo.

En ese escenario, se toma la decisión en la relación a la gestión de un sistema agrícola productivo, destacándose los aspectos relativos a intensidad de movilización del suelo, la diversidad y el arreglo de especies que componen el modelo de producción y la cantidad y calidad de agroquímicos empleados. Mientras que la intensidad de movilización del suelo y la cantidad y calidad de agroquímicos están asociados a la tasa de aceleración de mineralización del material orgánico aportado al suelo, la diversidad y el arreglo de especies, determinados por el modelo de producción adoptado, están asociados a la cantidad y la calidad de materia orgánica resultante en el suelo.

La tasa de pérdida de materia orgánica del suelo es altamente influenciada por la movilización del suelo, por homogeneizar rastrojos y nutrientes en la capa removida, oxigenar el suelo y, por lo tanto, estimular la acción de los microorganismos descomponedores. En un mismo suelo, la preparación convencional puede duplicar la tasa de mineralización de la materia orgánica en relación al SSD. Sistemas agrícolas productivos, donde la gestión contempla la movilización intensa del suelo, remoción o quema del rastrojo, modelo de producción que implica especies de baja productividad de rastrojos y/o de barbecho estacional y, por lo tanto, baja productividad de biomasa, normalmente, generan una tasa anual de aporte de material orgánico al suelo, inferior a la tasa anual potencial de mineralización. Esta condición determina la mineralización de la materia orgánica estable del suelo, implicando una reducción del contenido del carbono, desestabilización estructural y, como consecuencia, degradación integral de la fertilidad del suelo. En síntesis, los procesos de mejora de la fertilidad integral del suelo, sin duda, están asociados a la gestión de sistemas agrícolas productivos que promueven la maximización del aporte de material orgánico al suelo y minimización de las pérdidas. En éste sentido, es relevante considerar que, más allá de los restos culturales producidos por la parte aérea de las plantas, está el material aportado por las raíces, que, indiscutiblemente, asume un papel preponderante en la construcción de la fertilidad física, química y biológica del suelo. Los modelos de producción que contemplan especies con abundante y agresivo sistema radicular, como las gramíneas forrajeras perennes, que contribuyen con mayor fracción del carbono fotosintetizado por las raíces que las especies anuales, son más eficientes en elevar y estoquear la materia orgánica del suelo y en imprimir el carácter de sustentabilidad a los agroecosistemas.

#### IV. FERTILIDAD INTEGRAL DEL SUELO

El suelo, bajo un enfoque elemental, es conceptualizado como un cuerpo componente del paisaje natural, representado por un elemento volumétrico y constituido por una matriz de sólidos que alberga líquidos, gases y organismos vivos, componiendo un complejo sistema fisicoquímico-biológico dotado de características y de propiedades resultantes de los efectos del clima, el tiempo y la actividad biológica actuantes sobre el material de origen (procesos pedogenéticos), así como la acción antrópica. Bajo un enfoque funcional y desde el punto de vista agrícola, el suelo constituye el ambiente natural donde las plantas se desarrollan, actuando como elemento de soporte y disponibilidad de agua, aire y nutrientes. Sin embargo, bajo un enfoque funcional y desde el punto de vista de sistema agrícola productivo, el suelo es apenas un componente determinante de la productividad de este sistema, en razón de las limitaciones de su fertilidad integral.

El grado de fertilidad integral del suelo, al implicar aspectos físicos, químicos y biológicos, se determina, básicamente, por la estructura del suelo. La estructura del suelo conduce los parámetros determinantes de la capacidad de almacenamiento y disponibilidad de agua, de la capacidad de almacenamiento y difusión de calor, de la permeabilidad al aire, del agua y de las raíces, del nivel de acidez y de la disponibilidad de nutrientes (**Figura 2.43**).

La estructura del suelo puede ser conceptualizada como la relación entre el volumen realmente ocupado por las partículas del suelo y el volumen aparente de ese suelo, variando con las dimensiones de los poros existentes entre las partículas. De otra forma, la estructura del suelo es el arreglo de las partículas que lo componen, resultado de procesos pedogenéticos y/o de acciones antrópicas relativas al manejo. Bajo el enfoque de sistema agrícola productivo, la estructura del suelo amplía el concepto de fertilidad del suelo, sin limitarlo, exclusivamente, a los aspectos químicos, genéricamente considerados como reacción del suelo (pH), del contenido de nutrientes y del nivel de materia orgánica.

La agregación y la estabilidad de los agregados del suelo, que determinan el tipo y la calidad de la estructura del suelo, son directamente dependientes de la cantidad y de la calidad de la materia orgánica del suelo. La materia orgánica interactúa con los minerales del suelo, formando complejos organominerales que dan lugar a la formación de partículas secundarias de diversos tamaños y formas. Como el resultado de la cantidad y la calidad de la materia orgánica del suelo es resultado de la cantidad y calidad del material orgánico aportado al suelo, se deduce que las especies vegetales integrantes de los sistemas agrícolas productivos constituyen el factor primordial responsable del de-

sarrollo de la fertilidad integral del suelo. Por lo tanto, el carbono orgánico aportado al suelo, derivado de la biomasa de la parte aérea y de las raíces de las plantas, de mucílagos y de exudados radiculares y de la biomasa del suelo, potencializa esa interacción, formando y estabilizando agregados. La formación de agregados, a su vez, disminuye la acción de los microorganismos descomponedores, contribuyendo a la acumulación de compuestos orgánicos del suelo, secuestro del carbono, principalmente en suelos no movilizados.

La magnitud del flujo del material orgánico aportado por el modelo de producción aplicado al sistema agrícola productivo, así como la calidad de la fuente de carbono agregado, determinan la intensidad de la actividad biológica, la cantidad y la calidad de los compuestos orgánicos secundarios derivados y, por lo tanto, influyen en las propiedades del suelo emergentes del ciclo del carbono, como el contenido de materia orgánica, agregación, porosidad, aireación, infiltración del agua, retención del agua, capacidad de intercambio de cationes, balance del nitrógeno, etc. En síntesis, el modelo de producción aplicado al sistema agrícola productivo, que confiere calidad, cantidad y periodicidad al aporte de carbono al suelo, asociado al modo de manejo de los rastrojos, que interfiere en la tasa de mineralización del material orgánico agregado, es quien, en esencia, promueve o degrada la fertilidad integral del suelo.

#### V. DEGRADACIÓN ESTRUCTURAL DEL SUELO DENSIFICACIÓN Y/O COMPACTACIÓN

El postulado de que el arado y la reja de discos, operando de manera intensiva y continuamente en la misma profundidad de trabajo, son responsables de la degradación estructural del suelo y del consiguiente aumento de susceptibilidad a la erosión, al transformar el horizonte superficial del suelo en dos capas con características y propiedades totalmente distintas: una superficial dispersa, con estructura de agregados simples, de aproximadamente 0-6cm de profundidad y otra subsuperficial densificada/compactada, con estructura maciza, de aproximadamente 6-20cm de profundidad (**Cuadro 2.32**). Es comprensible que las operaciones de la preparación del suelo, efectuadas con estos implementos agrícolas, no tengan el efecto de una coctelera, para promover, de forma exclusivamente mecánica, ese grado de transformación estructural en la matriz sólida del suelo. Puede afirmarse que la acción mecánica de movilización del suelo actúa solamente como agente desencadenador de este proceso de transformación estructural y no como agente causal directo del fenómeno. A partir de las movilizaciones intensas de suelo, que se procesan, sistemáticamente,

a lo largo de las cosechas agrícolas, ocurren en el suelo, complejas acciones y reacciones biológicas, químicas y físicas, determinando que las alteracio-

nes de la matriz sólida no son resultantes de una única relación entre causa y efecto.

**Cuadro 2.32.** Densidad del suelo y agregados estables en agua, en fracciones de la capa de 0-30cm de profundidad, de un Latosol Rojo, sometido, por tres y siete años consecutivos, a la preparación exclusiva con reja de discos.

Capa (cm)	Bajo 3 años de uso		Bajo 7 años de uso	
	Densidad del suelo (g/cm <sup>3</sup> )	Agregado >4.76mm (%)	Densidad del suelo (g/cm <sup>3</sup> )	Agregado >4.76mm (%)
0-6	*	*	*	*
6-14	1.2	78	1.43	48
14-23	1.2	79	1.40	58
23-30	1.18	78	1.25	56

REF.: \* Ausencia de agregados o suelo con estructura de agregados simples.

Biológicamente, este proceso de transformación estructural del suelo es condicionado por la mineralización de la materia orgánica fresca (biomasa de la parte aérea y de las raíces de las plantas, mucílago, exudados radiculares y biomasa microbiana del suelo) y de la materia orgánica estable (compuestos orgánicos de cadenas estructurales largas). La acción mecánica de movilización del suelo, al incorporar correctivos, fertilizantes y residuos vegetales a la capa arable, oxigena el suelo y disponibiliza nutrientes a los microorganismos, incrementando, consecuentemente, de forma intensiva, la actividad biológica, que comienza a acelerar la mineralización del material orgánico incorporado y, en secuencia, la propia materia orgánica estable del suelo.

Los compuestos orgánicos, reconocidos como agentes cimentantes activos de macroagregados, cuando están mineralizados, promueven la desestabilización de los macroagregados, los cuales, asociados a continuas operaciones de movilización del suelo, pasan a ser fraccionadas, culminando con la dispersión del suelo en microagregados y/o en partículas unitarias.

Químicamente, el proceso de transformación estructural del suelo es condicionado por la adición de correctivos y de fertilizantes, demandados por el sistema agrícola productivo, más que por sus potencialidades para desencadenar reacciones promotoras de alteración del estado de agregación y de estructuración del suelo. En parte, este fenómeno puede ser desencadenado por la roca calcárea, correctivo normalmente aplicado en dosis elevadas en la capa arable del suelo. Efectos directos de los carbonatos de calcio y de magnesio en la dispersión del suelo, son resultantes del aumento de cargas eléctricas negativas y de la consiguiente reducción de la

atracción entre las partículas coloidales, especialmente de los óxidos de hierro y de aluminio. El encalado propicia la sustitución de los cationes H<sup>+</sup> y Al<sup>+++</sup>, que tienen acción estabilizante de la estructura del suelo, pero los cationes Ca<sup>++</sup> y/o Mg<sup>++</sup>, que, en la faja de pH abajo de 7.0, tienen acción dispersante, culminando, a semejanza de la reacción biológica, con la desestructuración de macro y microagregados, así como con la dispersión del suelo en partículas unitarias.

La acción positiva del encalado en la agregación de suelos ácidos, relatada por numerosos autores, ciertamente se atribuye a efectos indirectos, como favorable al aumento de la producción de biomasa, primordialmente, como resultado de la subida del pH, resultando en la acumulación de sustancias húmicas agregadoras del suelo. Con base en tal asertiva, esta acción positiva del encalado se puede esperar en los sistemas agrícolas que producen altas cantidades de biomasa, ya que se asocian a condiciones climáticas y técnicas de manejo del suelo desfavorables a la mineralización intensiva de los residuos vegetales.

De manera genérica, por lo tanto, es posible afirmar que los principales modelos de producción implementados en los sistemas agrícolas productores de granos, en el ámbito de los latosoles brasileños, no reúnen las condiciones necesarias para que el encalado promueva mejoras estructurales del suelo. Las condiciones climáticas, tropicales y subtropicales de Brasil, aliadas con la preparación intensiva del suelo, determinan la intensidad de mineralización de tal manera que, más allá de la descomposición de la materia vegetal fresca aportada por el modelo de producción, la propia materia orgánica estable del suelo pasa a ser descompuesta, no permitiendo la acumulación de humus. Por lo

tanto, en detrimento de la estabilidad de agregados, la dispersión del suelo se favorece.

Finalmente, las reacciones físicas, complementarias al proceso de transformación estructural del suelo, resumen la acción del agua de infiltración, que promueve la eluviación de los minerales de arcilla dispersos en la capa superficial del suelo y el arreglo "errático" de esas partículas en la zona de deposición, modificando drásticamente a la matriz sólida original del suelo. La porosidad natural del suelo en la capa subsuperficial pasa a ser obstruida por los minerales de arcilla iluviados, aumentando la densidad del suelo por la concentración de masa del suelo por unidad de volumen. Este fenómeno de migración y de sedimentación de minerales de la arcilla se desarrolla en la superficie del suelo en la capa densificada/compactada, con estructura maciza y estabilizada por ligaciones electrostáticas originadas de los minerales de arcilla iluviados, a semejanza del proceso de desarrollo del horizonte B arcilloso. Por otra parte, la pérdida de estabilidad de los macroagregados y su fraccionamiento en microagregados y/o en partículas unitarias y la consecuente eluviación de parte de los minerales de la arcilla se desarrolla en la capa superficial dispersa, con la estructura de agregados simples.

De manera paralela y concomitantemente a estos procesos, ocurre también el fenómeno típico y exclusivo de compactación del suelo. Éste es resultado de fuerzas mecánicas, oriundas del tráfico de máquinas agrícolas y del pisoteo de los animales sobre el suelo, que aproximan los microagregados y/o las partículas unitarias dispersas, por medio de la expulsión del aire y/o del agua que los mantienen separados, aumentando la densidad del suelo por la reducción del volumen total del suelo a costa de la reducción de la porosidad.

A pesar de los innegables beneficios acreditados al SSD, es perceptible que la parcela de los actuales modelos de producción implementados en los sistemas agrícolas anuales productores de granos en Brasil tienen el aporte de biomasa, tanto por la parte aérea de las plantas como por las raíces, en cantidad inferior al potencial de mineralización determinado por las condiciones climáticas. Los sistemas de rotación de cultivos donde la producción de biomasa se presenta cuantitativa y cualitativamente insuficiente, asociados al encalado concentrado en la superficie del suelo, ciertamente desencadena un proceso de mineralización intensivo de la materia orgánica fresca aportada y, por lo tanto, restringen la formación de materia orgánica estable, responsable de la organización y la estabilización de la estructura del suelo. En este contexto, la recuperación y/o el mantenimiento de la estructura de los latosoles ácidos del Brasil requerirán la implementación de ajustes en los modelos de producción, con el objetivo de propiciar tasas permanentes de aportes de residuos vegetales y de

raíces en cantidad y calidad que permitan superar la tasa de mineralización.

Con base en éste ejercicio de construcción de hipótesis en el entorno del complejo de causas y efectos de la transformación de los estándares de calidad de la fertilidad integral del suelo, se concluye que el SSD, a la luz del estado actual del conocimiento, es el sistema de manejo más eficaz para expresar el potencial genético de las especies cultivadas, al reducir al mínimo la degradación de los recursos naturales y maximizar el potencial del factor clima y, principalmente, el factor suelo, actuando como un mecanismo de transformación, de reorganización y de sustento del agronegocio.

## VI. AGRICULTURA CONSERVACIONISTA

La agricultura conservacionista, por mucho tiempo, se restringió a un enfoque reduccionista, estando asociada, única y exclusivamente, al grado de reducción de la intensidad de movilización del suelo en relación al laboreo convencional (LC). Como resultado, surgieron expresiones para caracterizar sistemas de manejo conservacionistas del suelo, tales como el laboreo mínimo o laboreo reducido (labranza mínima), sin laboreo, siembra directa (cerolabranza, no laboreo), etc., que pasaron a recibir diferentes interpretaciones/conceptualizaciones, en razón de particularidades regionales relativas al tipo e intensidad del uso de equipos agrícolas para la movilización del suelo.

En la actualidad, la agricultura conservacionista, en el ámbito de sistemas agrícolas productivos, es conceptualizada como un complejo de procesos tecnológicos de enfoque holístico, cuyo objetivo es preservar, mejorar y optimizar los recursos naturales, mediante el manejo integrado del suelo, del agua y de la biodiversidad, compatibilizado con el uso de insumos externos. Ese complejo de procesos tecnológicos se considera uno de los factores responsables de los avances en el desarrollo agrícola de la última década, fundamentalmente, por implicar, concomitantemente la disponibilidad de tecnologías para diferentes estratos agrarios:

- Reducción o eliminación de movilizaciones del suelo.
- Preservación de residuos culturales en la superficie del suelo.
- Mantenimiento de cobertura permanente del suelo.
- Ampliación de la biodiversidad, mediante cultivos de múltiples especies, en rotación de cultivos o en consociados de cultivos y uso de abo-

nos verdes o de cultivos de cobertura del suelo.

- Diversificación y complejización de sistemas agrícolas productivos, como agropastoriles, agroforestales y agrosilvopastoriles.
- Manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas.
- Control del tráfico de máquinas y equipos.
- Uso preciso de insumos agrícolas.
- Empleo de prácticas complementarias al control integral de la erosión.
- Abreviación del intervalo entre cosecha y siembra, debido a la implementación del proceso cosechar-sembrar

Delante de esa ampliación conceptual, la agricultura conservacionista, por preconizar la implementación holística de este complejo de procesos tecnológicos, presenta estructura sistémica. La adopción parcial de estos procesos, sin duda, remete a la agricultura conservacionista al escenario pasado, en la cual la visión reduccionista era predominante.

La agricultura conservacionista, bajo esa dimensión conceptual, constituye el sustento de sistemas agrícolas productivos, conservando el suelo, el agua, el aire y la biodiversidad, así como, previniendo la contaminación y la degradación de los sistemas del entorno. En otras palabras, la agricultura conservacionista pasa a ser interpretada como agricultura eficiente o efectiva en el uso de los recursos disponibles.

En Brasil, el actual abordaje de la agricultura conservacionista viene siendo ampliamente contextualizado en el ámbito del SSD, el cual se interpreta como herramienta de la agricultura conservacionista para imprimir el carácter del sustentabilidad al desarrollo agrícola. En ese sentido, el SSD es conceptualizado como un complejo de procesos tecnológicos destinado a la exploración de sistemas agrícolas productivos, contemplando la diversificación de especies, vía rotación y/o cultivos coasociados, movilización del suelo solamente en la línea de siembra, mantenimiento permanente de la cubierta del suelo y minimización del intervalo entre cosecha y siembra, mediante la implementación del proceso cosechar-sembrar. Bajo este enfoque, por lo tanto, el concepto del SSD no se puede confundir con el simple acto de sembrar/plantar sin previa preparación del suelo, interpretada como un complejo tecnológico capaz de viabilizar la perennización de este proceso.

A semejanza de la actual base conceptual de la agricultura conservacionista, el SSD, al contemplar

integralmente este complejo de procesos tecnológicos, somete al sistema agrícola productivo a un menor grado de perturbación o de desorden, cuando se compara con otras formas de manejo, por requerir menor infraestructura de máquinas y equipos, exigir menos fuerza de trabajo y menos energía fósil, favorecer el control biológico de plagas, enfermedades y malezas, minimizar la erosión, aumentar los procesos de floculación y de agregación del suelo, para desarrollar la estructura del suelo, disminuir la tasa de mineralización de materia orgánica y desacelerar las tasas del ciclo y del reciclaje de nutrientes, estableciendo sincronismo con la tasa de crecimiento de las formas de vida presentes. Por lo tanto, el SSD, comparativamente a otras formas de manejo, potencializa la obtención del equilibrio dinámico del agroecosistema, disciplinando los flujos de entrada y de salida de la energía y de materia del sistema y conserva el respectivo potencial biológico, reservando la mayor capacidad de autoreorganización. Al reflejar este concepto, la adopción del SSD tiene como objetivo de expresar el potencial genético de las especies cultivadas, por la maximización del factor ambiente y del factor suelo, sin degradar los recursos naturales, permitiendo que ellos actúen como mecanismos de transformación, de reorganización y de sustento de agroecosistemas. Con respecto a la vida, mediante la incesante expectativa de alcance de una agricultura irreprochable, la creencia de la agricultura conservacionista y el SSD como posibilidades reales de atender a este paradigma.

En esta escena de transformación, de reorganización y de sustento de agroecosistemas, catalizada por los fundamentos que dirigen el SSD, se destaca la propuesta de minimizar el intervalo entre cosecha y siembra, proceso cosechar-sembrar, que demanda innovaciones tecnológicas para expresar el potencial de beneficios que reserva. Es ese proceso el que mejor reproduce, en el sistema agrícola productivo, los flujos de aporte y de mineralización de material orgánico observados en ecosistemas naturales, o sea, el comportamiento de los ciclos que representan vida en ecosistemas naturales, ciclo del carbono, ciclo del nitrógeno, etc. En ecosistemas naturales, los flujos de adición y de mineralización del material orgánico, varían estacionalmente en intensidad, pudiendo ser considerados permanentes y simultáneos, manteniendo las entradas y las salidas de materia y de energía en equilibrio dinámico. En cambio, se observa que, en agroecosistemas estructurados en sistemas agrícolas productivos, constituidos por modelos de producción que contemplan especies anuales, los flujos de adición y mineralización del material orgánico no son siempre continuos ni simultáneos. En el período del ciclo vegetativo de las especies cultivadas, ambos flujos, de adición y de mineralización, ocurren simultáneamente. En esta situación, los elementos mineralizados pueden ser repuestos y

absorbidos por las plantas vivas, evitando pérdidas en el sistema. Sin embargo, en el período entre las cosechas, como resultado de la ausencia de plantas vivas, la mineralización, que pasa a ser el flujo predominante o exclusivo, libera carbono y nutrientes para el sistema, sin el respectivo reemplazo y absorción. En esta situación, el sistema se torna vulnerable a pérdidas debido al quiebre del equilibrio dinámico necesario para la sustentabilidad agrícola.

## VII. OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS AGRÍCOLAS PRODUCTIVOS

De lo exhibido, es posible deducir que la sustentabilidad de agroecosistemas es totalmente dependiente de la calidad de gestión dedicada a los sistemas agrícolas productivos, fundamentalmente, a los aspectos relativos a los modelos de producción, si es que son eficaces en reproducir el equilibrio dinámico de los flujos de aporte y de mineralización del material orgánico observados en los ecosistemas naturales. Como resultado, está reservada la estructuración de los modelos de producción y grado de relacionamiento entre la actividad agrícola y el ambiente, parámetro que viene siendo sometido gradualmente a evaluaciones cada vez más rigurosas por exigencias de fuerzas sociales. Por lo tanto, la viabilización técnica del complejo tecnológico contemplado por la agricultura conservacionista esta, esencialmente, asociada a las características estructurales y comportamentales de las especies cultivadas. El proceso cosechar-sembrar, cuyo objetivo es reducir o suprimir el período entre las cosechas de los sistemas agrícolas productivos, depende del mejoramiento genético de las plantas orientadas a ampliar la estacionalidad de las especies cultivadas, es decir, de la creación de cultivares adaptados para ser sembrados en diferentes épocas del año agrícola y con ciclos. Esta diversidad de características comportamentales, tanto en especies comerciales como en especies destinadas a la promoción de la fertilidad integral del suelo, propicia flexibilidad al planeamiento de los modelos de producción, minimización o supresión de los períodos entre las

cosechas y optimización del uso del suelo, por viabilizar un mayor número de cosechas por año agrícola.

Uno de los ejemplos más expresivos del éxito alcanzado por el mejoramiento genético en la introducción de este comportamiento estacional de especies cultivadas es observado en el cultivo de maíz. Actualmente, en la región de clima subtropical de Brasil, esta especie puede ser considerada un cultivo, con híbridos y/o cultivares, de naturaleza multiestacional, pues se cultiva, con éxito, en el período de julio a marzo, es decir, en todas las estaciones del año y con ciclos que varían de superprecoces a tardíos. Otro ejemplo de esta naturaleza, de repercusión económica y ambiental, proporcionado por el mejoramiento genético vegetal se puede observar en la región del Cerrado brasileiro. La reducción del ciclo del cultivo de la soja, en más de 30 días, asociada a similar reducción del ciclo de los cultivos de trigo y de maíz, propició cambios radicales en los modelos de producción estructurados en sistemas agrícolas productivos conducidos bajo el SSD, que eran basados en monocultivo de soja o en sucesión de soja comercial/mijo (*Pennisetum americanum*) para cobertura del suelo. Esa característica comportamental, genéticamente introducida en esas especies, induce a la implementación del binomio zafra-zafriña en esa región del país, o sea, duplicación de zafras con especies comerciales por año agrícola, viabilización de la diversificación de especies cultivadas y complejización de sistemas agrícolas productivos, como la integración agricultura/ganadería. La imagen expresada en la **Figura 2.44**, ampliamente difundida vía internet, en el último año, que retrata un sistema agrícola productivo de granos en la región del Cerrado brasileiro encierra varias interpretaciones relativas al agronegocio brasileiro -exuberancia, potencialidad, pujanza-, ninguna es más explícita que el proceso de cosechar-sembrar. En ese proceso, es relevante enfatizar la interacción observada entre el SSD y las especies y los cultivares portadores de características específicas, que actúan como factores de optimización del modelo de producción y de conferencia de carácter de sustentabilidad al agroecosistema.



**Figura 2.44.** Cosecha de soja, zafra principal y siembra de soja, zafriña, conducidas bajo el sistema de siembra directa, en la región de los Cerrados brasileiros.

En las regiones de clima templado y subtropical del país, en donde la distribución anual de la lluvia permite el uso agrícola del suelo en todos los meses del año, hay períodos entre cosechas con potencial de aumentar el número de cosechas agrícolas comerciales o intensificar el cultivo de especies promotoras de la fertilidad integral del suelo, en tentativa de reducir las pérdidas promovidas por la mineralización de los rastrojos y de reproducir el agroecosistema o el equilibrio dinámico observado en el ecosistema. La viabilización de estas opciones está generando demandas para la investigación pertinente al mejoramiento genético vegetal, dirigidas fundamentalmente a la creación de cultivares de especies destinadas a la promoción de la fertilidad integral del suelo con características de cultivos de inserción, es decir, diversidad de cultivares para varias épocas de siembra y ciclo, con potencial de integrar modelos de producción en los períodos entre zafras de las especies comerciales. Un escenario para esa demanda es la carencia de especies/cultivares adaptadas a ocupar los períodos entre la cosecha del maíz, en febrero-marzo, y la siembra de trigo, en mayo-junio y la cosecha de soja, en marzo y la siembra de trigo, en junio-julio. Actualmente, hay indicaciones técnicas para la siembra del cultivo de nabo forrajero (*Raphanus sativus*) en ese período, prácticamente suprimiendo el período entre las cosechas, pero sin la disponibilidad de cultivares mejorados con especificidades que permitan optimizar el modelo de producción. Las semillas de esa especie, ofertadas en el mercado sin ninguna distinción varietal, son, indiscriminadamente, indicadas tanto para ser sembradas en ese período de 60 a 90 días marzo-junio, como para ser sembradas como cultivo opcional de invierno-abril a julio, abril a agosto, abril a setiembre y abril a octubre. Indudablemente, tanto los cereales del invierno como la soja, el maíz, el sorgo, etc., podrían ser altamente beneficiados por especies mejoradas, para especificidades deseadas y cultivados en períodos entre cosechas como cultivos precursores, sin perjudicar el calendario agrícola de las especies comerciales. En este sentido, el cultivo del nabo forrajero, sin el mejoramiento genético, ha asumido cierta importancia en el sistema agrícola productivo debido a la incorporación del nitrógeno que realiza entre la cosecha de verano y la cosecha de invierno, o mismo entre dos zafras secuenciales de verano. Resumidamente, ese aporte de nitrógeno corresponde al proceso del cultivo del nabo forrajero de incorporar la biomasa o el nitrógeno mineralizado de los rastrojos de los cultivos de verano y hacerlo disponible, en tasas adecuadas, a los cereales de invierno cultivados en secuencia o a continuación del cultivo de verano.

Una demanda para el mejoramiento genético de las plantas es ilustrada por las especies usadas tradicionalmente como abonos verdes: mucuna negra (*Mucuna aterrina*), crotalaria (*Crotalaria juncea*),

guandu (*Cajanus cajan*), lab-lab (*Dolichos lab lab*) entre otras. Estas especies, de indiscutible potencial para la promoción de la fertilidad integral del suelo, son cultivos típicos de verano, con época de siembra restringida a los meses de setiembre a enero. Ese comportamiento relativo a la época de siembra, indudablemente, ha limitado la utilización de esas especies como abono verde o como plantas de cobertura, ya que ese período ideal de cultivo es preferencialmente destinado a las especies comerciales. La inducción del comportamiento multiestacional a esas especies, transformándolas en cultivos de inserción mediante la creación de cultivares adaptados para siembras en los períodos entre zafras de los cultivos comerciales, representaría una tecnología de potencial inestimable para la optimización de sistemas agrícolas productivos.

El cultivo de mijo, por sus características de rusticidad y elevada producción de biomasa, tanto de la parte aérea como de raíces, mismo sin mejoramiento genético orientado, viabilizó la adopción y la expansión del SSD en la región del Cerrado brasileiro. En la actualidad, cultivares de *Brachiaria*, implantados en siembras simultáneas o en sobre siembras luego de sembrados los cultivos de maíz y de soja, están substituyendo al mijo, en esa región del país. La ventaja substitutiva se reserva a la característica de *Brachiaria* en sobrevivir al período sin lluvias - mayo a setiembre-, ahorrando una nueva siembra, como la requerida por el cultivo de mijo y, fundamentalmente, suprimiendo los períodos entre zafras.

Es incuestionable que la flexibilización de los modelos de producción, la optimización de sistemas agrícolas productivos y la sustentabilidad de agroecosistemas son directrices, básicamente, dependientes de la tecnología de producto generada por el mejoramiento genético vegetal con enfoque de alcance holístico y sistémico, mucho más allá de la tradicional individualización de la especie trabajada. Las crecientes demandas por los productos generados para la agricultura no permiten los largos períodos de barbecho de las tierras practicadas en el pasado, con el objetivo de recuperar la fertilidad integral del suelo con la vegetación espontánea. El mejoramiento genético vegetal, más allá de crear cultivares de especies comerciales con mayor flexibilidad de época de cultivo, presenta potencial para crear cultivares de especies de inserción, posiblemente, más activas que la vegetación espontánea, ocurrente en los barbechos de larga duración, para la promoción de la fertilidad integral del suelo. Ese direccionamiento de la investigación en la mejora genética de plantas, de forma similar al nuevo enfoque abordado por la agricultura conservacionista, podrá consistir, en el ámbito de la relación agricultura/ambiente, más que un progreso notable de desarrollo y de modernización de la agricultura. Aunque los ejemplos explicitados demuestran resultados revolucionarios en el agronegocio y el

ambiente y, en parte, explican los incrementos de producción de granos experimentados por Brasil en los últimos años, sin duda, cuantificar el potencial de nuevas contribuciones reservadas a la mejora genética vegetal, como herramienta para la optimización de sistemas agrícolas productivos y el desarrollo de la sustentabilidad de agroecosistemas, es inimaginable.

# SEBRADORAS PARA SIEMBRA DIRECTA

## EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA Y PROBLEMAS EN LA RELACIÓN MÁQUINA/SUELO EN EL SUR DE BRASIL

*por Arcenio Sattler*  
*Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, Brasil*

### I. INTRODUCCIÓN

A mediados de la década del 70, el Centro Nacional de Investigación de Trigo (EMBRAPA Trigo), unidad de investigación de la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA), con sede en el municipio de Passo Fundo, Río Grande del Sur, Brasil, iniciaba un programa para el desarrollo de sembradoras para siembra directa (SD). Inicialmente el enfoque principal de la SD era el control de la erosión del suelo y la economía de combustible, evolucionando, con el pasar de los años, para una técnica rentable para diversos cultivos.

Cuando ese sistema de manejo conservacionista fue introducido en el sur de Brasil, se procuró usar las mismas sembradoras disponibles para siembra en labranza convencional (LC). Muchas de esas sembradoras, una vez adaptadas, presentaban desempeño aceptable operando sobre la paja, en tanto otras no tuvieron el mismo desempeño.

El proceso de desarrollo de sembradoras específicas para uso en sistema de siembra directa (SSD) demandó cooperación entre investigación oficial, agricultores e industrias de maquinaria agrícola. Inicialmente fue dada atención especial al desarrollo de elementos para romper el suelo, principalmente por las dificultades impuestas por el creciente aumento de rastrojo en la superficie, que al principio estaba en torno de 3 tt/ha (materia seca), y actualmente pasan con facilidad las 10 tt/ha, dependiendo del sistema de producción adoptado.

El desarrollo de elementos para romper el suelo, iniciado con el uso de azadas rotativas, pasó por el sistema de triple disco, por el sistema de cuchillos, por los sistemas múltiples, por el sistema de discos desencontrados y por los sistemas combinados, generando conocimientos que culminaron en una amplia serie de modelos comerciales de sembrado-

ras para SD actualmente disponibles en el mercado.

La evolución tecnológica y la oferta comercial de sembradoras para los variados modelos de producción, bajo el SSD, pasó también por distintas fases:

- Años 60/70: importación de sembradoras (azadas rotativas).
- Años 80: desarrollo de las primeras sembradoras de flujo continuo (grano fino); adaptación de sembradoras convencionales, tanto de flujo continuo como de precisión; desarrollo de variadas configuraciones de elementos para romper el suelo; inicio del desarrollo de las sembradoras múltiples (para grano fino y grano grueso) y consolidación del concepto de robustez.
- Años 90: afirmación de las sembradoras múltiples; introducción y desarrollo de nuevos mecanismos dosificadores de fertilizantes y de semillas; mejoramiento de mecanismos rompedores de suelo; sembradoras de gran porte; sembradoras para pequeña propiedad y para tracción animal, consolidación de conocimientos y de conceptos.
- A partir del año 2000: mejoramiento de mecanismos dosificadores y nuevos conceptos de chasis.

El creciente y acelerado proceso de adopción del SSD ha catapultado la oferta de equipos de siembra, en que varias combinaciones y arreglos de dosificadores de semillas y de elementos para romper el suelo son presentados, apuntando a atender las diferentes condiciones de suelo, topografía y cultivos.

## II. CONOCIMIENTOS CONSOLIDADOS

La dinámica evolutiva de las sembradoras para SD, en Brasil, consolidó conocimientos y fundamentos que son directrices, tanto para fabricantes como para usuarios, o sea, una sembradora para SD debe ser; eficiente en el rompimiento del suelo; versátil, precisa y uniforme en la dosificación y en la distribución de insumos, presentar facilidad de uso y calidad. Esa dinámica evolutiva fue un proceso acumulativo de generación de conocimientos, que en tanto, por razones diversas, no se encuentran integralmente eculizados en la manufactura de varios equipos para SD.

Se consideran conocimientos consolidados en el decorrer del proceso evolutivo de las sembradoras para SD:

- La eficiencia en el rompimiento del suelo de una sembradora para SD está anclada en tres pilares: corte de la paja; flujo de la paja; abertura y cierre de los surcos de siembra y de fertilización.
- Uso de sistema de discos dobles desencontrados para cultivos con espaciamientos reducidos entre las líneas de siembra (inferior a 20cm).
- Uso de sistema múltiple, disco de corte, cuchilla y disco doble para siembra de los cultivos con espaciamientos entre líneas superiores a 30cm.
- Sistema rompedor de suelo, tipo de disco doble desencontrado, dentro de los varios modelos comerciales disponibles, los conjuntos que tienden a tener mejor desempeño (menor demanda de energía y menor revolvimiento de suelo) son aquellos cuyo ángulo de unión es pequeño (< de 8°) y cuyo defasaje mínimo es superior a 25mm.
- Cuchillos de espesor reducido (inferior a 25mm) y con ángulo de ataque de 20 a 25° en relación a la superficie del suelo, resultan en reducción del movimiento del suelo y en menor esfuerzo de tracción y penetración.
- Cuchillos, normalmente usados para depositar fertilizante a mayor profundidad (10 a 15cm) y para promover descompactación en la línea de siembra.
- Para mejor desempeño en términos de rompimiento de suelo, aparte de considerar la geometría de los elementos que rompen el suelo, se debe tener en cuenta el arreglo y la disposición de estos bajo la sembradora. En ese sentido, el elemento que rompe el suelo deberá tener una fluctuación vertical amplia, independiente y con carga uniforme, para acompañar adecuadamente los microrelieves de la superficie del suelo.
- La fluctuación vertical del elemento que rompe el suelo, está directamente relacionada con el curso del elemento de transferencia de fuerza.
- Uso de paralelogramos para montaje y fijación de los elementos que rompen el suelo (comúnmente denominados pantógrafos) mantienen prácticamente inalterados sus ángulos de ataque al suelo.
- El desempeño de la sembradora, en cuanto al rompimiento de suelo, será mejor cuanto mayor sea la interdependencia entre sus elementos rompedores, tanto en la línea como entre las líneas de siembra.

- En cuanto al flujo de la paja bajo la sembradora, dos aspectos son importantes: la altura del chasis en relación a la superficie del suelo (espacio libre) y el defasaje entre los elementos que rompen el suelo.
- El “espacio libre”, normalmente, está relacionado con la geometría de los elementos para romper el suelo y su fijación. El uso de discos, como elementos rompedores, con diámetros inferiores a 40cm, tienen mayor dificultad de suplantar, sin entupimiento, altas cantidades de rastrojo (encima de 10tt/ha).
- El flujo de la paja bajo la sembradora será mejor cuanto mayor sea el defasaje entre los elementos que rompen el suelo. Defasaje este, tanto en el sentido longitudinal como en el sentido transversal entre las líneas de siembra.
- Son deseables en una sembradora, dispositivos que permitan la regulación continua del espaciamento entre las líneas (cm/cm).

### III. PROBLEMAS POR RESOLVER

Los problemas remanentes en la manufactura de sembradoras para SD, especialmente en aspectos de la relación máquina/suelo, en la abertura y cierre del surco para deposición de semillas y de fertilizantes, si bien ya fueron parcialmente equalizados por algunas empresas fabricantes, son todavía visibles en varios modelos a disposición en el mercado.

Entre estos problemas, se pueden citar:

- Ilimitada ampliación de la largura de chasis sin el necesario ajuste de otros elementos mecánicos.
- Fluctuación vertical, de los elementos rompedores de suelo; limitada o nula.
- Principios mecánicos conceptualmente ultrapasados (triple disco, múltiplo en barra única).
- Elementos rompedores de suelo inadecuados (sub o sobredimensionados) al avance tecnológico del SSD.
- Arreglo inadecuado de los elementos que rompen el suelo, para adopción de nuevas prácticas de manejo cultural (espaciamento reducido entre hileras).
- Deficiente control en la deposición de semillas y fertilizantes.

En tanto, aparte de los requisitos técnicos relacionados con la manufactura de la sembradora, se debe considerar que el desempeño de la sembradora está íntimamente relacionado al usuario/operador, a la manutención, a las regulaciones, al manejo de los restos culturales, a la humedad del suelo y a la velocidad de trabajo.

En resumen, parte de la problemática en la relación sembradora/suelo, en SSD, está centrada en el anacronismo tecnológico/conceptual de considerable fracción de fabricantes, de técnicos y de usuarios.

Diseño y Diagramación:  
MERCOSOFT CONSULTORES  
[www.mercosoft.com](http://www.mercosoft.com)





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

Argentina  
Bolivia  
Brasil

Chile  
Paraguay  
Uruguay



[www.procisur.org.uy](http://www.procisur.org.uy)

Edificio MERCOSUR  
Luis P. Piera 1992 Piso 3  
Montevideo - Uruguay  
Tel.: (598 2) 410 1676  
Fax: (598 2) 410 1780  
E-mail: [sejecutiva@procisur.org.uy](mailto:sejecutiva@procisur.org.uy)