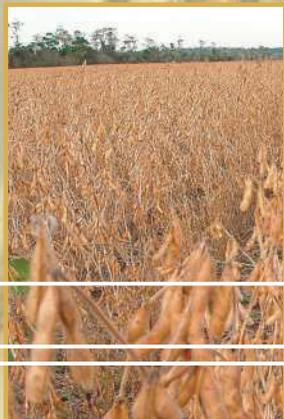




## CAPÍTULO III

### SISTEMAS DE LABRANZA Y NUTRICIÓN



EL MANEJO DE SUELOS  
EN EL ÁREA PRODUCTORA DE GRANOS  
DEL NOROESTE ARGENTINO

INOCULACIÓN



# EL MANEJO DE SUELOS EN EL ÁREA PRODUCTORA DE GRANOS DEL NOROESTE ARGENTINO

Roberto Figueroa - Carlos Hernández - Miguel Morandini - Mario R. Devani - Daniela R. Pérez

La zona productora de soja del NOA tiene suelos profundos, que poseen una textura muy uniforme, franco a franco limoso en todo el perfil. En las zonas que tienen precipitaciones altas puede existir un horizonte franco arcillo limoso entre los 40 y los 90 cm de profundidad, que corresponde a la acumulación de arcilla que proviene de la parte superior del perfil (horizonte B textural).

Esta amplia zona fue desmontada rápidamente desde principios de la década de 1970, y la habilitación de tierras tuvo un sostenido avance hacia el este, fruto de la buena rentabilidad de la soja y de algunos avances tecnológicos.

La baja estabilidad estructural de estos suelos y las condiciones ecológicas de la región NOA, sumado al monocultivo de la soja bajo un sistema convencional de laboreo, provocaron una lenta pero continua degradación física, química y biológica de los mismos. Esta degradación se puso de manifiesto por una marcada disminución de la materia orgánica y de los niveles de fósforo disponible, una reducción de la velocidad de infiltración y una fuerte susceptibilidad al encostramiento. A ello se agregaron importantes procesos erosivos de origen hídrico y eólico, producto de la labranza convencional y la falta de sistematización para el control del escurrimiento.

Desde la campaña 1995/1996 hubo un avance notable de las prácticas de laboreo conservacionista, determinando que más del 95% de la superficie con soja se encuentre actualmente bajo el sistema de siembra directa (Devani *et al.*, 2004).

La siembra directa permitió ocupar áreas que anteriormente eran consideradas marginales para la soja, debido a que incrementa la captación de agua de lluvia y reduce pérdidas de humedad por evaporación directa. Esto estuvo acompañado por la adopción de variedades de

grupos cortos que podían sembrarse más tarde y cumplir su ciclo en un periodo más breve, reduciendo los requerimientos de agua.

La adopción de la siembra directa constituye un importante avance en la búsqueda de la sustentabilidad de la producción agrícola de la región. Así mismo, influye positivamente en muchos aspectos de la relación suelo-agua-planta. De ellos, los tres de mayor importancia son los siguientes:

- 1.- Determina que el suelo conserve mejor la humedad almacenada.
- 2.- Determina que se mantenga una tasa de infiltración más alta, aumentando la captación de agua.
- 3.- Determina que la velocidad de escurrimiento sea menor, disminuyendo la erosión y aumentando la cantidad de agua útil.

La disponibilidad de máquinas para la siembra directa de excelente performance y un adecuado manejo de los herbicidas, han hecho que esta práctica se lleve a cabo con muy buenos resultados en cuanto a uniformidad, densidad de plantas y control de malezas. A esto se agrega que las variedades RR han simplificado este último aspecto y abaratado costos en forma más que significativa. Se puede afirmar en términos generales, que el paquete tecnológico constituido por siembra directa y manejo de herbicidas está siendo aplicado con éxito por parte de la mayoría de los productores.

Quedan por resolver algunos aspectos relacionados al efecto de la siembra directa sobre algunas propiedades de los suelos en el largo plazo, fundamentalmente contenido y distribución de nutrientes disponibles en el perfil y

compactación superficial.

La rápida adopción de la siembra directa en la región permitió reducir el ritmo de degradación, pero el monocultivo de soja continuó y continúa siendo un sistema no sustentable de producción. Su sustentabilidad se hace más cuestionable en la medida que se avanza a zonas con balance hídrico más negativo. Esto está asociado a la obtención de rendimientos más bajos y a un menor aporte de residuos de cosecha, lo que redundará en una menor restitución de materia orgánica, mayor encostramiento y mayor evaporación directa.

En la actualidad, los puntos relevantes vinculados directamente al manejo del suelo son:

- Economía del agua.
- Control de la erosión hídrica.
- Rotaciones y sustentabilidad.
- Manejo de fertilizantes.

## ECONOMÍA DEL AGUA

La soja presenta una gran capacidad para sortear condiciones de baja humedad durante su ciclo sin que éstas tengan un fuerte impacto en los rendimientos. Esto se debe a que el periodo de máxima sensibilidad al estrés hídrico, que se inicia con la floración (R1) y va hasta la primera parte del llenado de granos (R5), es extenso en relación a lo que ocurre con otras especies. Tal característica hace que solo condiciones muy prolongadas de baja humedad de suelos puedan reducir los rendimientos de manera muy significativa.

La captación de humedad y la reducción de pérdidas por escurrimiento y evaporación son los factores de mayor peso en los resultados de una campaña. Esto tiene mucha importancia en cualquier punto del área productora. A la par de ello, la decisión de que grupo o variedad sembrar y cuando hacerlo responde a un análisis donde se debe tener en cuenta las condiciones agro-ecológicas de cada localidad, el agua almacenada en el perfil y la influencia que en este sentido puede tener el cultivo anterior en la campaña que se va a iniciar. Este análisis es mucho más crítico cuanto mayor es el déficit hídrico de la localidad en cuestión. El área sembrada con trigo crece y se expande hacia el este cuando las precipitaciones del periodo febrero-abril son abundantes, pues existen perspectivas ciertas de obtener beneficios económicos. Con respecto a este tema, recientemente la EEAOC ha hecho aportes significativos al conocimiento del balance hídrico de la

secuencia soja-trigo (Figuroa *et al.*, 2004) en el área productora de Tucumán. Se ha demostrado la importancia que tiene en los rendimientos la captación y conservación de la humedad, lograda por medio de barbechos y de la conservación de rastrojos en superficie. Se ha demostrado también que la humedad residual de la campaña de soja, cuando es tomada por el trigo o consumida por las malezas, tiene una fuerte repercusión sobre la producción de la próxima campaña. Este impacto es mayor cuando mayor es el déficit de precipitaciones durante el ciclo de la soja. De igual manera, a medida que se avanza hacia áreas con menores precipitaciones, el trigo precedente puede deprimir los rendimientos del cultivo de verano de una manera creciente en función a la cantidad y distribución de las lluvias.

Se debe tener presente que la evapotranspiración potencial crece en la misma dirección que disminuyen las precipitaciones. Esto determina que la demanda de agua de los cultivos se haga mayor en igual sentido. Desde el punto de vista de una estrategia de siembra, en la zona con bajas precipitaciones se debe privilegiar las siembras intermedias y tardías (desde mediados de diciembre en adelante) y con variedades que cumplan su ciclo en menor tiempo (grupos intermedios y cortos). Esto incluye dos conceptos que deben jugar preponderantemente en las decisiones:

- 1.- Las siembras tardías, unidas a prácticas de almacenaje y conservación de la humedad, determinan generalmente una cantidad mayor de agua almacenada en el perfil al momento de la siembra. Cuando ésta es mayor, más altas son las posibilidades de superar con éxito periodos con lluvias escasas y obtener altos rendimientos. Esta mayor cantidad de agua almacenada se logra con un buen control de malezas, mayor volumen de rastrojo en superficie y reducción del escurrimiento por medio de terrazas y cultivos en contorno.
- 2.- El requerimiento de agua se hace menor cuando más corto es el ciclo de la variedad.

Una alternativa no adoptada aún en el NOA, en las áreas donde las precipitaciones son menores y las pendientes tienen gradientes bajos, es la construcción de sistemas de terrazas a nivel con extremos cerrados. Estas terrazas, que pueden ser de base ancha, tienen la función de retener el escurrimiento y lograr una infiltración diferida del agua que, de otra manera, se perdería cuando las lluvias son de alta intensidad. La baja velocidad de infiltración de los

suelos franco limosos y franco arcillosos, hace pensar que puede ser un recurso efectivo para aumentar el almacenaje de humedad. Esta práctica ha dado resultados favorables en otras regiones semiáridas del mundo.

### CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Con respecto al control de erosión, aspecto estrechamente relacionado a la fertilidad de los suelos y a la captación y conservación de la humedad, la adopción de la siembra directa ha significado un importante paso adelante en este sentido. A tal punto que erróneamente se la ha considerado sustituta de las prácticas de conservación de suelo para control de la erosión hídrica, cuando en realidad ambas son complementarias. En términos generales, la siembra directa no brinda suficiente protección cuando ocurren lluvias cuya intensidad-duración tiene baja probabilidad de ocurrencia, más aún en suelos con baja velocidad de infiltración y baja estabilidad estructural, como los del área productora. La determinación de llevar a cabo trabajos especiales como cultivos en contorno y/o sistemas de terrazas y canales de desagüe, debe ser objeto de un análisis detallado en cada situación y de una observación cuidadosa de lo que ocurre cuando se presentan lluvias de alta intensidad. Este análisis abarca aspectos tales como la intensidad de las lluvias, la pendiente y su longitud, la posición del predio en la cuenca y las posibilidades de recibir agua de escurrimiento de las partes más altas, la rotación y el tipo de suelo.

Los primeros trabajos de sistematización de suelos realizados en el área se hicieron construyendo terrazas de base angosta, en lo posible paralelizadas, para lograr un mejor aprovechamiento de la superficie y elevar la eficiencia de la maquinaria agrícola. En los últimos años se ha generalizado el planteo de terrazas de base ancha, con lo que se logra el aprovechamiento de la totalidad de la superficie, mantener la eficiencia de las máquinas en un nivel alto y una mejor uniformidad en las aplicaciones terrestres de agroquímicos y fertilizantes. El gran ancho de las sembradoras actualmente en uso impone la construcción de terrazas con una base de 8 m a 12 m y una altura de coronamiento de 0,40 m a 0,50 m con relación a la rasante. De esta manera se pueden lograr siembras uniformes en cuanto a distribución y profundidad. El intervalo vertical entre terrazas, su longitud máxima y los gradientes de diseño son motivo de un análisis para cada situación. En términos generales se recomienda no superar los 700 m de longitud y mantener gradientes de canal de

terrazza por debajo del 0,2%. En la actualidad, muchos productores transformaron las terrazas de base angostas en base ancha.

Un aspecto muy importante es el diseño y mantenimiento de los canales de desagüe. Se ha generalizado el planteo de canales vegetados de sección parabólica pues poseen las siguientes características:

- 1.- Bajo radio hidráulico, lo que significa una menor velocidad de flujo y menores riesgos de erosión.
- 2.- De fácil construcción.
- 3.- De fácil mantenimiento.
- 4.- En la mayor parte de los casos pueden ser cruzados con la maquinaria agrícola, por lo tanto no constituyen un obstáculo a la circulación.

La cobertura recomendada es la grama bermuda (*Cynodon dactylon*), la cual brinda una excelente protección al suelo, confiriéndole estabilidad aún con velocidades de flujo de hasta 2,00 m/s. Desafortunadamente, el uso indiscriminado de herbicidas totales y graminicidas atentan contra la supervivencia de esta especie y comprometen seriamente la estabilidad de los canales.

Se observa en los últimos años un sostenido aumento del área sistematizada con terrazas y canales de desagüe, como consecuencia de que el agricultor reconoce las ventajas que aporta el sistema. Sin embargo, subsisten inconvenientes muy serios cuando se proyectan estos trabajos sin una planificación a nivel de cuenca. Es frecuente ver como la ejecución de algunas sistematizaciones se frustra pues los predios no cuentan con vías de drenaje natural adonde volcar los excedentes de escurrimiento. En estos casos, si los vecinos aguas abajo no se suman al proyecto o no permiten que la canalización de las aguas continúe por sus predios, normalmente las obras no se llevan a cabo. Cuando se las hacen sin una planificación y acuerdos previos, se pueden generar conflictos de gran magnitud. La solución a estos problemas exige una activa participación del estado en el ordenamiento de las cuencas y como promotor de las obras que deben realizar los productores en sus respectivos campos.

### ROTACIONES Y SUSTENTABILIDAD

El otro problema, no menos significativo, es la adopción de rotaciones que sean sustentables desde el punto de vista agroecológico. La sustentabilidad debe estar basada en la

conservación de la fertilidad física, química y biológica de los suelos y en la captación de la lluvia y el uso del agua almacenada de la manera más eficiente posible. Esto debe ser acompañado por la sustentabilidad económica de la producción agrícola.

La sustentabilidad abarca muchos aspectos, de ellos, los relevantes para el NOA son:

- ❑ Mejorar la economía del agua.
- ❑ Lograr un balance adecuado de carbono en el suelo.
- ❑ Lograr un balance equilibrado de nutrientes en cuanto a suministros y exportaciones.
- ❑ Mantener una condición física favorable.

Cada uno de estos aspectos puede ser objeto de extensas consideraciones. En el ámbito local es importante mencionar algunas de ellas que han suscitado discusiones entre técnicos y productores.

La economía del agua está en directa relación con la cantidad de rastrojo en superficie. Cuando mayor es el volumen de rastrojo, menores son las pérdidas por evaporación directa, como ha sido demostrado en numerosos trabajos llevados a cabo en otras áreas del mundo, principalmente en las planicies del centro y sur de los Estados Unidos de Norteamérica. En este sentido, un rastrojo de maíz cuyo rendimiento es 6.000 kg/ha brinda una mejor protección que el de un trigo de 2.000 kg/ha o el de una soja de 3.000 kg/ha en cuanto a pérdidas por evaporación directa. Esto está vinculado al mayor volumen de rastrojo que deja el maíz. Existen algunas experiencias

locales donde los rendimientos de la soja fueron comparativamente más altos cuando el cultivo antecesor fue maíz a cuando fue soja. Las diferencias tienden a incrementarse en años con precipitaciones inferiores a las normales y están estrechamente relacionadas a una mejor conservación de la humedad por parte del rastrojo de maíz. El rastrojo de sorgo cumple un cometido muy parecido, siendo un cultivo con menores costos de implantación y mayor plasticidad para superar períodos con déficit de humedad. Lamentablemente, su baja rentabilidad ha hecho que no se lo vea como un cultivo alternativo en la rotación.

Lograr un adecuado balance de carbono implica introducir en la rotación cultivos que aporten en forma superficial y subsuperficial una cantidad significativa de materia orgánica. En este sentido, el aporte de la soja es bajo y la cantidad de rastrojo es más o menos igual al 72% a 75% de grano producido. De los otros dos cultivos importantes, en el maíz, el grano constituye aproximadamente un 40% de la materia orgánica total producida, del 60% restante, 1/3 es sistema radicular y 2/3 parte aérea.

Para dar una idea de la magnitud de los aportes de rastrojos de distintas rotaciones se considera que rendimientos de 3,0 t/ha de soja contribuyen aproximadamente con 2,25 t/ha de rastrojo, 6,0 t/ha de maíz con 6,0 t/ha de rastrojo y 2,0 t/ha de trigo con 3,0 t de rastrojo.

En base a estos valores aproximados, las incorporaciones del maíz en una relación con soja 1:1; 1:2 y 1:3 aportan las siguientes cantidades de rastrojo (sin considerar raíces).

Rotaciones	Maíz-Soja 1:1	Maíz-Soja 1:2	Maíz-Soja 1:3	Doble Cultivo Trigo-Soja	Monocultivo Soja
<b>Aporte promedio (t/año)</b>	4,125	3,500	3,187	5,555	2,250

La incorporación del maíz y el trigo en la rotación tiene ventajas adicionales por cuanto en ambos la cosechadora no tritura ni desmenuza la totalidad del rastrojo, lo cual sí hace con la soja. Esto determina una menor vulnerabilidad ante la acción de la microflora y una mayor permanencia sobre la superficie del suelo. No es menos importante el hecho que ambos modifican el perfil de variación de velocidad del viento, haciendo que ésta sea menor en la superficie del suelo reduciendo las pérdidas por evaporación.

El doble cultivo anual trigo-soja está limitado a la zona húmeda del área productora y a años en que se logra un muy buen nivel de humedad de suelos hasta 1,20 m a 1,50 m de profundidad en mayo. Se mencionó anteriormente el

efecto negativo que tiene el trigo como cultivo antecesor de la soja en una campaña con precipitaciones inferiores a las normales.

Si se analiza particularmente lo que ha ocurrido con la rotación maíz-soja en Tucumán y zonas de influencia (oeste santiagueño y sudeste de Catamarca), se observa una marcada disminución en el área con maíz y en la relación superficie sembrada con maíz vs maíz más soja (Cuadros III.1 y III.2). En el NOA, en general, se recomienda rotar con gramíneas entre 20% y 50% del área cultivada.

En Tucumán la rotación se encuentra por debajo de lo recomendado, ya que en todos los departamentos la relación mencionada está en general por debajo del 15%. Esta situación es más grave en las áreas con mayor déficit

hídrico, donde el porcentaje debería ser superior al 30%. Aunque las ventajas agronómicas de la rotación maíz-soja y su importancia en la sustentabilidad del sistema son

ampliamente conocidas, la menor rentabilidad del primero de estos cultivos ha llevado a disminuir paulatinamente su participación en la misma.

Cuadro III.1. Superficie implantada con maíz y soja, y relación del maíz versus maíz + soja por campaña, 1998/1999 - 2003/2004.

Campaña	Hectáreas Sembradas		Relación Maíz/(maíz + soja)
	Maíz	Soja	
1998/1999	45.000	152.000	22,8 %
1999/2000	58.000	125.000	31,7 %
2000/2001	35.000	199.800	14,9 %
2001/2002	32.180	219.590	12,8 %
2002/2003	27.900	226.350	11,0 %
2003/2004	29.280	257.820	10,2 %

Fuente: 1998/1999 y 2000/2001 SAGPyA. 2000/2001 - 2003/2004 SR y SIG EEAOC.

Cuadro III.2. Relación de superficie implantada con maíz versus maíz + soja, por departamento en Tucumán y en las zonas de influencia (oeste de Santiago del Estero y sudeste de Catamarca) en el periodo 2001/2002 - 2003/2004.

Zona	Maíz/(Maíz + Soja)		
	2001/2002	2002/2003	2003/2004
Burruyacú	15,9%	13,8%	14,3%
Cruz Alta	8,2%	6,8%	6,2%
Leales	11,7%	8,9%	6,3%
Graneros	10,3%	5,6%	8,9%
La Cocha	5,0%	7,7%	4,7%
Tucumán	12,8%	11,0%	10,2%
Oeste de Santiago	17,5%	14,7%	9,2%
SE de Catamarca	8,0%	7,9%	5,5%

Fuente: EEAOC elaborado con datos de Sección Sensores Remotos y SIG.

Al analizar por separado y en el corto plazo el monocultivo de soja y el de maíz, la oleaginosa ha resultado más atractiva para los agricultores, al ser su producción menos costosa, más sencilla, más resistente a rigores del clima y sus rindes un poco más estables en las diferentes campañas. Actualmente la presencia de roya en el área significa una amenaza que puede complicar el manejo del cultivo y elevar los costos de producción. Se espera que esto sirva de aliento para incrementar la superficie sembrada con maíz.

Cuando la situación se analiza en el largo plazo, y se apunta a la sustentabilidad y rentabilidad del sistema y no al de la soja y maíz por separado, las conclusiones pueden ser otras. Es conocido que el maíz genera incrementos en los rendimientos de soja u otros cultivos que le suceden, hecho que ha sido demostrado por ensayos a largo plazo en otras áreas productoras del país. De esta manera, la rotación gana rentabilidad y sustentabilidad. En este sentido, en la medida en que disminuyen el precio de la

soja y sus rendimientos, menores son los requerimientos en toneladas de maíz (en rotación 2:1) necesarios para igualar los ingresos que produce el monocultivo. Lo mismo ocurre cuando aumenta el precio del maíz (Gráficos III.1 y III.2). En términos generales, las rotaciones con gramíneas contribuyen a mejorar la estructura del suelo por un mayor aporte de materia orgánica y por que poseen un sistema radicular más denso. La mejora de la estructuración y la estabilidad de los agregados son aspectos importantes relacionados con la porosidad, el almacenaje de agua y la velocidad de infiltración. Sin embargo, no deben esperarse cambios importantes en el contenido total de materia orgánica del suelo, como producto de la incorporación del maíz en la rotación. Lo que ocurre en latitudes como las del NOA, con altas temperaturas durante una parte importante del año, es que los aportes de materia orgánica generan aumentos en la tasa de mineralización de tal manera que el efecto, aún en el largo plazo, es poco significativo o nulo.

## PRODUCCIÓN DE SOJA EN EL NOROESTE ARGENTINO

Gráfico III.1. Toneladas de maíz en rotación con soja (2:1) necesarias para compensar el monocultivo de soja (precio del maíz: 80 u\$/t o 232 \$/t).

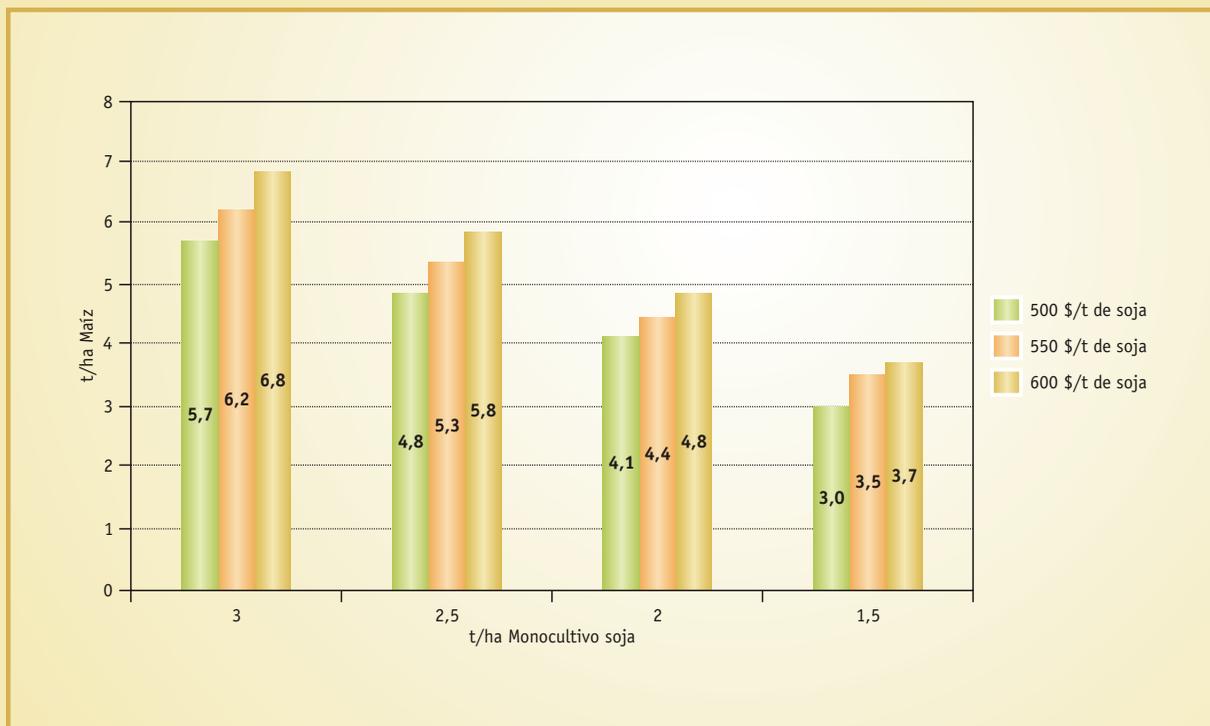
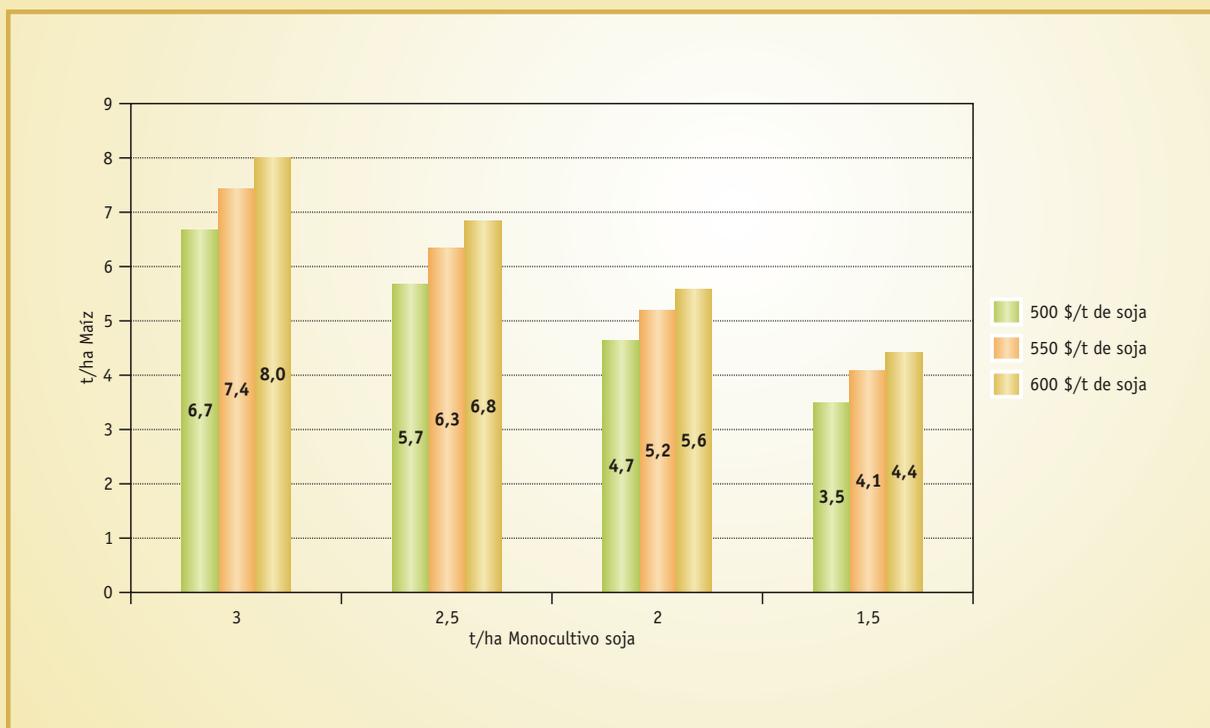


Gráfico III.2. Toneladas de maíz en rotación con soja (2:1) necesarias para compensar el monocultivo de soja (precio del maíz: 90 u\$/t o 261 \$/t).



Una práctica que está difundándose con rapidez entre los productores cañeros, es la rotación caña-soja. En este caso, la siembra de una variedad RG que es resistente a la acción del glifosato, tiene como objetivo principal disminuir la presión de malezas, fundamentalmente gramíneas, en la próxima plantación de caña de azúcar. La presión de malezas, particularmente la originada por la grama bermuda (*Cynodon dactylon*), va en aumento con la edad del cañaveral. A esto contribuyen los equipos de cultivo y, principalmente, los de cosecha. El productor cañero es conciente que una plantación que comienza con una menor presión de malezas tiene mayor productividad y longevidad.

### MANEJO DE FERTILIZANTES

El suministro equilibrado de nutrientes mediante el agregado de fertilizantes contribuye a lograr un nivel de disponibilidad adecuado de los elementos esenciales, haciéndolo con un criterio económico y, al mismo tiempo, de preservación del ambiente. Al respecto, cada nutriente tiene características propias en cuanto a disponibilidad y movilidad, y tanto las dosis como las formas y los momentos de aplicación deben estar en función de las características de los suelos, el clima y los cultivos.

Los suelos del área productora tienen en general menos de 40 años de agricultura, su fertilidad se mantiene todavía alta y, hasta el momento, el único nutriente con importancia zonal es el fósforo. La distribución geográfica, según los niveles de disponibilidad de este nutriente, es muy variable y existen áreas con altos contenidos, donde no se esperan respuestas a la fertilización en el corto y mediano plazo.

En la actualidad aproximadamente entre 35 y 40% de la superficie dedicada al cultivo de soja se fertiliza con fósforo (Devani *et al.*, 2004). Las fuentes de fósforo más empleadas son 11-52-0 (fosfato monoamónico) y 0-46-0 (superfosfato triple).

La calibración del método de Bray-Kurtz 1 para soja ha demostrado que la respuesta del cultivo a la fertilización es segura con valores de P disponible inferiores a 8 ppm. Con valores de P entre 8 y 13 ppm la respuesta es probable, pudiéndose tomar como parámetro de interpretación el contenido de materia orgánica del suelo, que a valores inferiores a 2,5% indicaría mayor probabilidad de respuesta a la aplicación de P. Finalmente, con contenidos de P disponible superiores a los 13 ppm la probabilidad de respuesta es muy baja (Morandini *et al.*, 2002).

Tomando en cuenta la disminución de los contenidos de fósforo disponible desde el momento del desmonte, que está en directa relación con los años dedicados a la agricultura, la EEAOC recomienda fertilizar cuando los resultados del análisis arrojan valores inferiores a 16 - 18 ppm, con el propósito de impedir que la disponibilidad caiga dentro del rango crítico.

Se aconseja la toma de muestras de suelo siguiendo las recomendaciones dadas por la EEAOC (Figuroa, L. R., 2001). En suelos con valores superiores a 25 ppm de fósforo no es necesario repetir los análisis por los próximos 5 años. En la medida que este valor se acerca al de los niveles críticos se recomienda incrementar la frecuencia para poder detectar anticipadamente potenciales deficiencias.

En cuanto a la forma de aplicación, numerosos ensayos experimentales llevados a cabo por la EEAOC han demostrado que no existen diferencias significativas entre las aplicaciones incorporadas y las superficiales. Estos resultados obedecen a la baja capacidad de fijación de fósforo de los suelos del área productora. Tal característica representa una ventaja económica y operativa muy importante, pues la incorporación del fertilizante en el momento de la siembra hace más lenta esta tarea y encarece los costos al compararla con aplicaciones superficiales al voleo.

Cuando se trata de agregar fósforo a la rotación soja-trigo, es preferible fertilizar a la siembra de la oleaginosa para que el efecto residual del fertilizante lo tome el trigo. Se alienta a seguir esta práctica por cuanto la rentabilidad de la soja es mayor (mayor retorno por cada unidad de fertilizante) y por que el suelo se mantiene, en términos generales, con un alto nivel de humedad en superficie durante su ciclo, lo cual permite un mejor aprovechamiento de este elemento que se comporta como poco móvil. En efecto, el fósforo se mantiene en una capa superficial de pocos centímetros de espesor. Cuando esta se seca, cesa allí la actividad radicular y también la absorción del elemento aportado por el fertilizante.

Estudios llevados a cabo por la EEAOC en lotes con muchos años de agricultura y donde la siembra directa fue adoptada varios años atrás, muestran fuertes variaciones en la distribución del fósforo disponible de los primeros 20 cm. Para demostrar esto se tomaron muestras estratificadas de suelo en capas de 2,5 cm de espesor, las cuales pusieron de manifiesto en muchos casos que un 40% a 60% del contenido total de los 20 cm superficiales, determinado por Bray y Kurtz I, se encuentra en los

primeros 5 cm de profundidad. Esto confirma la baja movilidad de este elemento y advierte sobre la necesidad de investigar acerca de la profundidad de toma de muestras que tenga un mayor valor diagnóstico.

Últimamente se comenzó a encontrar respuesta a la fertilización azufrada, especialmente en algunos suelos con bajo contenido de materia orgánica y de textura gruesa. En estas pocas situaciones se está aplicando azufre elemental, superfosfato simple y mezclas físicas o químicas que combinan distintos macro elementos.

No se han realizado mayores avances en el área en cuanto a la respuesta a elementos menores. Las aplicaciones comerciales de fertilizantes foliares que contienen micro elementos no han mostrado incrementos en los rendimientos. Esto está de alguna manera asociado al pH de gran parte de los suelos, el cual se ubica entre ligeramente ácido y ligeramente alcalino, rango donde estos elementos se encuentran disponibles.

Si bien constituye un problema menor, se han observado deficiencias de hierro o hierro y zinc en suelos con carbonato de calcio en superficie. La presencia de este carbonato en los horizontes superiores está asociada a problemas de erosión, a áreas con marcado de déficit hídrico y/o a situaciones topográficas altas. En estos ambientes el hierro y zinc se inmovilizan y las aplicaciones de los mismos al suelo generalmente no dan respuesta. Por otro lado, los resultados de aplicaciones foliares han sido hasta ahora muy erráticos. La solución pasa por el agregado de enmiendas acidificantes que reducen sustancialmente el pH y la cantidad de carbonato de calcio y el uso de quelatos específicos para esta situación. Ambas soluciones no tienen por ahora sustento práctico ni económico.

### OTROS ASPECTOS RELEVANTES

#### SALINIDAD, ALCALINIDAD Y FREÁTICA ALTA

El área productora de granos presenta sectores salinos y sódicos, asociados a la presencia de una freática alta. Es importante destacar que la determinación de la aptitud de un predio dado para el crecimiento de la soja se basa en el estudio de perfiles y el análisis de muestras de suelo. Cuando los factores limitantes son salinidad y/o alcalinidad, ocasionados por la presencia de una freática alta, el momento de la toma de muestras resulta de fundamental importancia para la elaboración de un diagnóstico correcto. En estas condiciones las variaciones

de salinidad, y en menor medida de pH, a lo largo del año son muy marcadas. El momento en que los perfiles de suelo alcanzan la máxima salinidad en superficie es septiembre-octubre y determinaciones realizadas en este bimestre sobreestiman la magnitud del problema. Por el contrario, aquellas hechas en febrero-marzo tienen el efecto contrario, pero reflejan en mejor medida las condiciones de suelo durante el ciclo del cultivo. Las variaciones en las condiciones edáficas obedecen al aporte de agua de la freática a la atmósfera por ascenso capilar durante la primavera, que produce fuertes incrementos en la salinidad de los horizontes superiores, y luego, al lavado de las sales provocado por las lluvias de verano.

Estos sectores han mostrado una gran variabilidad en los rendimientos, la cual está asociada al grado de salinidad y sodicidad y a las condiciones de humedad edáfica durante el ciclo de la soja. En años con precipitaciones inferiores a las normales el impacto sobre los rendimientos es mucho mayor que en otras áreas como consecuencia de la acumulación de sales en superficie por ascenso capilar y la consiguiente reducción de la disponibilidad de agua. Estas mismas áreas en años muy húmedos registran ascensos de la freática superiores a los normales, generando condiciones de mala aireación en las depresiones. La soja muestra una baja tolerancia a la salinidad y alcalinidad de suelos, como así también a condiciones de mala aireación. Esta es la razón por la que condiciones de estrés hídrico o alta humedad de suelo producen un fuerte impacto en los rendimientos en estas áreas.

Las áreas afectadas con estos problemas pueden ser mejoradas en forma significativa mediante trabajos de sistematización que promuevan el escurrimiento superficial. En general, se trata de áreas con un relieve llano y con bajas pendientes donde es frecuente el encharcamiento prolongado en las depresiones. Los puntos con mal drenaje superficial experimentan una recarga de la freática mayor, que determina un mayor ascenso capilar y, como consecuencia, una mayor salinidad promedio a lo largo de año. Esto hace que la gravedad del problema esté íntimamente asociado a la topografía, correspondiendo los puntos más afectados a las depresiones. En estos casos la sistematización consistente en la construcción de una red de canales de desagüe, acompañada por una buena orientación de las líneas de siembra, mejora las condiciones para el crecimiento de la soja. Las mejoras en cuanto a las condiciones para la producción de soja son significativas siempre y cuando no se trate de situaciones de elevada salinidad y/o graves problemas de drenaje.

## COMPACTACIÓN

Este problema no ha sido estudiado aún con la suficiente atención. La adopción de la siembra directa ha suprimido el laboreo y ha reducido el tráfico de la maquinaria y la compactación tanto superficial como subsuperficial. Pueden presentarse algunas situaciones con pie de arados originados cuando el suelo estaba siendo manejado con equipos de labranza convencional, las que deben ser corregidas antes de la adopción de la siembra directa.

Otra forma de compactación se presenta como pisos de tránsito que se generan por el paso de tractores, sembradoras, aplicadores de agroquímicos y equipos de cosecha y transporte, que forman parte del manejo en directa. Se trata de una compactación superficial que, cuando se presenta, puede significar una disminución en la velocidad de infiltración, una menor captación del agua de lluvia o crear condiciones de mala aireación durante lluvias prolongadas. Este aspecto debe ser estudiado en aquellos suelos con muchos años de siembra directa. En caso de tener que corregir una situación como la descrita, el uso de cinceles con cortadores de rastrote, trabajados a una profundidad de 20 cm a 25 cm, con una separación entre herramientas no mayor de 40 cm constituye una solución adecuada

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Devani, M. R., D. Pérez, L. D. Ploper, I. L. Olea, H. Salas, F. Ledesma y J. M. Lenis. 2004. Evolution and current status of soybean production in northwestern Argentina. En: VII World Soybean Research Conference, IV International Soybean Processing and Utilization Conference, III Brazilian Soybean Congress. Foz de Iguazú. Brasil. 29 de febrero al 05 de marzo.
- Figueroa, L. R. 2001. Recomendaciones generales relacionadas con la toma de muestras y la interpretación de los análisis de suelo. *Avance Agroind.* 22 (1): 41-43.
- Figueroa, L. R., M. Morandini, C. Hernández, M. Devani, D. Gamboa y M. F. Figueroa. 2004. Incidencia del cultivo antecesor sobre los rendimientos de soja. Campaña 2002/2003 y 2003/2004. El cultivo de la soja en el noroeste argentino. Campaña 2003/2004. *Pub. Esp. EEAOC* (25).
- Morandini, M., C. Hernández, R. Figueroa y A. Durán. 2002. Calibración del Método Bray y Kurtz 1 para la fertilización fosfórica en soja. *Avance Agroind.* 23 (1): 25-27.



# INOCULACIÓN

Mario R. Devani - Julián M. Lenis - Fernando Ledesma

La planta de soja debe acumular una cantidad significativa de nitrógeno (N) para lograr los altos contenidos de proteínas que son característicos de sus granos, los cuales pueden alcanzar valores promedios de hasta un 40% (González, 1997).

Se estima que para una producción de 1.000 kg de granos se necesitan aproximadamente 65 kg de N, a los cuales hay que agregarle 15 kg más para la producción de hojas, tallos y raíces, totalizando 80 kg de N. Por lo tanto para una producción de 3.000 kg de soja se necesitarían aproximadamente 240 kg del mencionado elemento (Hungria, 2001).

Los requerimientos de nitrógeno de esta leguminosa son cubiertos principalmente a través del aporte realizado por la mineralización de la materia orgánica (MO) del suelo, fertilizantes y por medio de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) (Hungria, 2001). La contribución realizada por la descomposición de la MO es limitada y muy susceptible de agotarse luego de varios cultivos, mientras que la efectuada por la aplicación de fertilizantes nitrogenados es de alto costo y baja eficiencia, estimándose que aproximadamente el 50% del producto aplicado se pierde por procesos de lixiviación, volatilización y desnitrificación (Hungria, 2001). En cuanto a la FBN, la misma aporta entre el 25 y el 84% del total absorbido por el cultivo de la soja (en condiciones de funcionamiento normal), lo cual demuestra la importancia de esta fuente de N (González, 1997; Racca, 2002).

La inoculación de semillas de soja con bacterias del género *Bradyrhizobium* (comúnmente conocidas como rizobios) es una práctica agrícola común y muy utilizada por los productores de diversas zonas sojeras de Argentina y del mundo, debido a que obtienen importantes incrementos de rendimiento con respecto a la no inoculación. Alrededor del

60% de los productores de soja en Brasil utilizan esta práctica (Hungria, 2001). Sin embargo, en la región NOA hasta comienzos de la actual década, no era una práctica generalizada entre los productores. Esto se debía fundamentalmente al hecho que hasta ese momento no se encontraba una respuesta clara en cuanto al efecto del tratamiento de semillas con bacterias fijadoras de nitrógeno, siendo los resultados, tanto de ensayos como de campos comerciales, más bien erráticos (Devani *et al.*, 2002). Teniendo en cuenta este aspecto, se consideró importante evaluar los efectos, principalmente sobre el rendimiento cultural, de la inoculación con diferentes cepas comerciales y precomerciales de *Bradyrhizobium*.

En los Gráficos III.3 y III.4 se pueden observar resultados de ensayos realizados en la localidad de San Agustín, Tucumán, con diferentes inoculantes, en las campañas 2001/2002 y 2002/2003, respectivamente.

Se puede apreciar que por medio de la inoculación se obtienen, en promedio, incrementos de rendimiento del orden del 4% respecto al testigo sin inocular, aunque cuando se analizan los inoculantes en forma particular estos aumentos llegan a alcanzar un 12%.

Estos resultados sugieren que la inoculación es una práctica que conduce a incrementar los rindes. Si bien estos aumentos de productividad pueden no llegar a ser muy importantes, desde el punto de vista económico se aprecian beneficios interesantes. Esto se debe al bajo costo de la técnica en relación con el aumento de rendimiento que genera (alta relación beneficio/costo).

La difusión de estos resultados, que marcan una tendencia al incremento de los rindes como resultado de la inoculación, está llevando a una rápida adopción de la práctica por parte de los productores de la región.

## PRODUCCIÓN DE SOJA EN EL NOROESTE ARGENTINO

Gráfico III.3. Rendimiento promedio de soja tratada con diferentes inoculantes en la campaña 2001/2002 en la localidad de San Agustín, Tucumán.

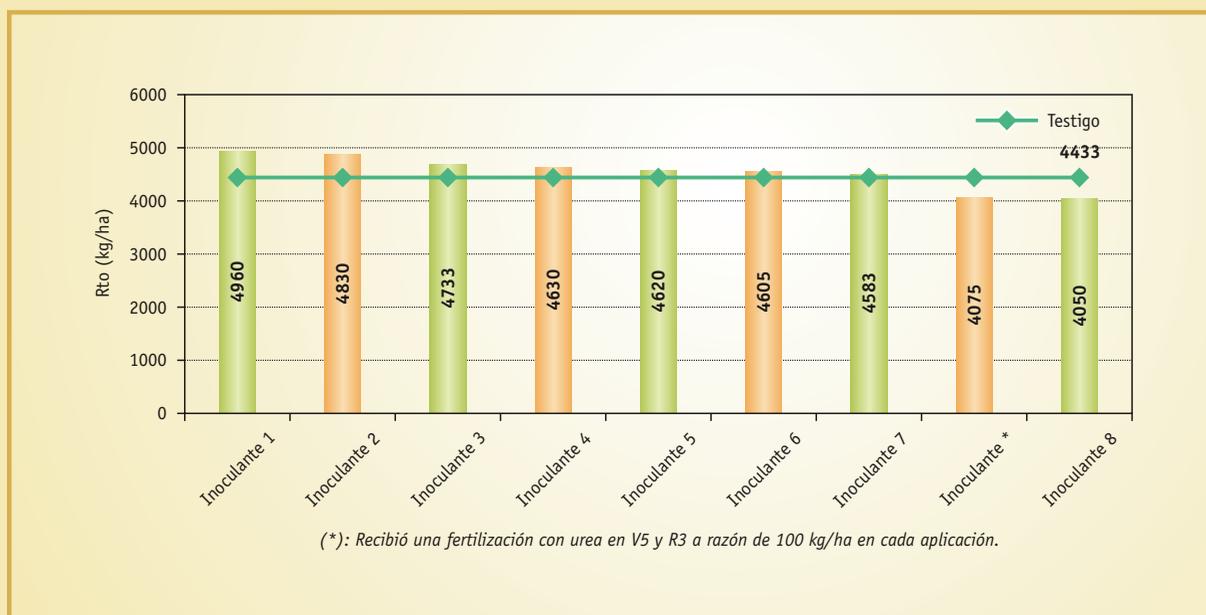
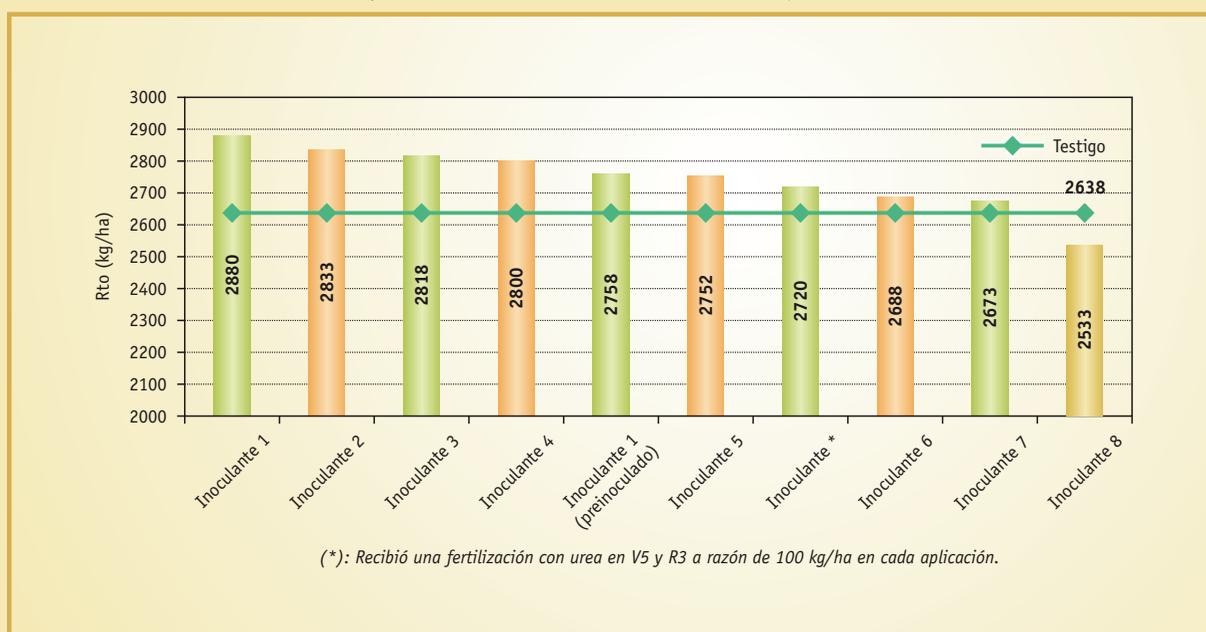


Gráfico III.4. Rendimiento promedio de soja tratada con diferentes inoculantes en la campaña 2002/2003 en la localidad de San Agustín, Tucumán.



Por otra parte también se efectuaron ensayos de laboratorio con la finalidad de determinar la forma de combinar la aplicación de curasemillas (fungicidas e insecticidas) e inoculante a la semilla, de manera tal de afectar lo menos posible las bacterias de interés. Se encontró que cuando no se mezclan los curasemillas con el inoculante, aplicando a la semilla primeramente los biocidas y luego las bacterias fijadoras, la cantidad de unidades formadoras de colonias

(ufc) por semilla se mantiene por arriba del mínimo requerido para una buena infección ( $8 \times 10^4$  ufc/semilla). Debido a que no solo es necesario que las bacterias conserven su viabilidad sino también su capacidad de infección y eficiencia de fijación, actualmente se está tratando de determinar cómo impactan los curasemillas en estos parámetros también fundamentales para una buena fijación biológica de nitrógeno.

### BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Devani, M., J. M. Lenis, F. Ledesma, J. Amigo, A. Stegmayer, D. Ploper y M. Gandur. 2002. Inoculación de Soja en la Provincia de Tucumán. Resultados de la campaña 2001/2002. *Avance Agroind.* 23 (3): 12-15.
  
- González, N; A. Peticari; B. Stegman de Gurfinkel y E. Rodríguez Cáceres. 1997. Nutrición nitrogenada. El cultivo de la soja en Argentina. INTA Manfredi-INTA Marcos Juárez. pp. 188-198.
  
- Hungria, M.; R. J. Campo y I. Carvalho Mendes. 2001. Fixação biológica do nitrogênio na cultura de soja. *Circular Técnica EMBRAPA Soja* (35).
  
- Racca, R. W. 2002. Fijación Biológica del Nitrógeno. X Congreso Nacional de AAPRESID. (1): 197-208. Rosario. Santa Fe. Argentina. 13 al 16 de Agosto de 2002.

