

Intensificación Ecológica de los Sistemas de Producción de la Región Pampeana de Argentina¹

Fernando O. García
IPNI - Programa Latinoamérica-Cono Sur
Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires, Argentina
fgarcia@ipni.net

En los últimos 15 años, la superficie bajo producción de soja, trigo, maíz y girasol en Argentina creció de 15 millones (promedio trienio 1991/93), a más de 25 millones de ha (promedio 2003/05). Esta expansión explica en gran medida el incremento en la producción de granos que pasó de 35 millones (promedio trienio 1991/93), a 71 millones toneladas (promedio trienio 2003/05) en el mismo período. La Tabla 1 muestra los incrementos porcentuales en producción, área y rendimiento para los cuatro principales cultivos de grano entre los promedios de los trienios 1991-1993 y 2003-05.

Tabla 1. Incrementos porcentuales en producción, área y rendimiento para los cuatro principales cultivos de grano de Argentina entre los promedios de los trienios 1991-1993 y 2003-05.

Cultivo	Producción	Área	Rendimiento
		----- % -----	
Maíz	49	12	29
Soja	225	172	19
Trigo	47	23	19
Girasol	2	-15	20
Total	101	68	-

Para maíz, los incrementos en rendimiento fueron más significativos, que el incremento en área sembrada. Lo contrario ocurrió con el cultivo de soja que muestra un impactante crecimiento en área, sobre el que se ha basado el notable aumento en producción, mientras que los rendimientos se incrementaron pero en una menor proporción. En el cultivo de trigo, la producción se incrementó a partir de aumentos similares en área y rendimiento. Finalmente, la producción de girasol prácticamente no presentó variación durante el período considerado, ya que la reducción en área sembrada fue compensada con mayores rendimientos.

La expansión del cultivo de soja se realizó a expensas de otros cultivos anuales (maíz, girasol, sorgo) y áreas de producción ganadera con pasturas y pastizales, y en suelos de menor aptitud agrícola en la región pampeana y el noreste y noroeste del país. La adopción de variedades de soja resistentes a glifosato a partir de 1996, la adopción de la siembra directa (SD) y los buenos precios de este grano fueron los principales determinantes de la expansión del cultivo. Aproximadamente un 50% del área total bajo agricultura en el país se realiza bajo sistemas de alquiler anual de tierras, por lo que los agricultores siembran el cultivo que les otorga un mayor beneficio, generalmente la soja, sin establecer rotaciones a mediano o largo plazo.

En los cuatro cultivos, los aumentos de rendimientos se explican por un mayor uso y/o la adopción de mejoras tecnologías y/o sistemas de producción:

- **Genética:** Híbridos y variedades de mayor potencial de rendimiento y resistencia a plagas (maíces con gen Bt resistentes a insectos, soja resistente a glifosato, girasol resistente a herbicidas) y enfermedades.
- **Prácticas de manejo del cultivo:** Elección del lote, fechas y densidades de siembra, manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas y otros.
- **Adopción del sistema de SD**
- **Mayor uso de fertilizantes**

Las perspectivas mundiales de demanda de alimentos, forrajes, fibras y, en particular,

¹ Presentado al XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo – SLCS – León, Guanajuato, México – 17 al 21 de Septiembre de 2007.

biocombustibles, indican que la producción de granos seguiría creciendo impulsada por precios crecientes. En este marco, se plantean algunos interrogantes significativos: ¿Hay posibilidades de seguir incrementando las áreas de producción de granos?, ¿Hay posibilidades de incrementar el rendimiento de los cultivos?

Actualmente, la producción de granos a nivel mundial enfrenta numerosos desafíos entre los cuales se destaca la necesidad de la preservación y/o mejoramiento del medio ambiente. El término sustentabilidad de los sistemas productivos pretende englobar este desafío de modo que, de manera más amplia, las preguntas planteadas en el párrafo anterior se pueden unificar en la siguiente: ¿Es sustentable el incremento en la producción de granos?

En este escrito se discuten algunos aspectos relacionados con la sustentabilidad productiva y ambiental de los sistemas de producción de granos en Argentina, y la intensificación ecológica de estos sistemas enfatizando el rol de la fertilización y el balance de nutrientes de los suelos. Se presenta y discute principalmente información de la región pampeana, región de planicies de clima templado con predominio de suelos molisoles ubicada en el centro-este del país, donde se concentra el núcleo productivo de cultivos de grano (soja, maíz, trigo, girasol, sorgo, cebada y otros).

¿Es sustentable la producción de granos?

La materia orgánica del suelo (MOS) es considerada uno de los principales índices de calidad de los suelos (Larson y Pierce, 1994). La agricultura y el laboreo de los suelos durante más de 100 años en zonas de la región pampeana, ha llevado a caídas significativas del nivel de MOS (Andriulo y Cordone, 1998; Urricarriet y Lavado, 1999; Alvarez, 2001) (Fig. 1). La introducción de la agricultura con laboreo en la región pampeana argentina también ha generado numerosos problemas de erosión hídrica y eólica (Casas, 1998). Asimismo, se ha observado una notable caída en la capacidad de abastecimiento de nutrientes de los suelos, como por ejemplo fósforo (P), en numerosas áreas resultado de balances de nutrientes negativos por la baja reposición vía abonos inorgánicos u orgánicos de los nutrientes extraídos por los cultivos (Andriulo y Cordone, 1998; García, 2001).

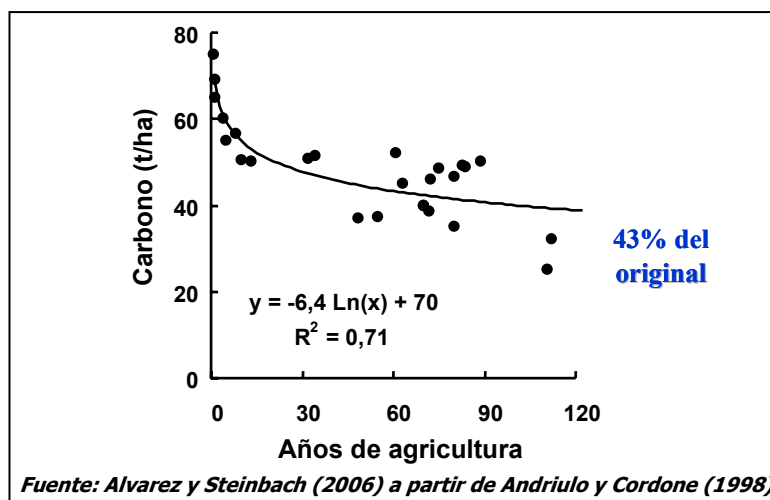


Figura 1. Niveles de Carbono orgánico en suelos argiudoles de la región pampeana norte desde la introducción de la agricultura.

La SD, las rotaciones y la nutrición balanceada se han mencionado como alternativas de manejo del sistema de producción que permiten mejorar los efectos de degradación del recurso suelo, generados por la agricultura con laboreo:

1. *Siembra directa*: La SD empezó a adoptarse a escala de lote a principios de los 90's alcanzando

actualmente más del 60% del área bajo producción de granos (AAPRESID, 2007, com. personal). La expansión de la SD ha sido indicada como uno de las razones de los mayores y más estables rendimientos logrados en los cultivos de grano en los últimos años. Asimismo, la SD se ha presentado como un sistema de manejo de suelos que permite mantener y/o mejorar la MOS (Sá et al., 2001; Díaz Zorita et al., 2002a; Studdert y Echeverría, 2002; Fabrizzi et al., 2003). La amplia adopción de la SD se presenta entonces como una alternativa para mantener y/o mejorar la sustentabilidad de los sistemas de producción.

2. *Rotaciones*: El mantenimiento de la MOS no depende solamente de la adopción de sistemas de SD, numerosos estudios han demostrado cómo la rotación de cultivos puede aumentar los niveles de la materia orgánica de suelo o retardar la declinación a través de un mayor aporte de carbono (C), vía residuos de cultivos (Havlin et al., 1990; Gregory y Drury, 1996; Peterson et al., 1998; Studdert y Echeverría, 2000; Morón, 2004; Karlen et al., 2006).

Las rotaciones de cultivos anuales y pasturas dominaron los sistemas agrícolas pampeanos hasta la década del '80. A partir de los 90's, la expansión de los cultivos de grano resultó en la disminución del área bajo pasturas. Asimismo, la expansión del cultivo de soja disminuyó el área de otros cultivos como girasol, maíz o sorgo. Actualmente, por ejemplo, en el sur de Santa Fe cada 10 años de cultivo se implanta soja en 7 años, trigo/soja en 2 y maíz en 1 (Cordone et al., 2005). La expansión de la monocultura de soja puede resultar en la caída de los niveles de MOS, mayor compactación de suelo y afectar las propiedades biológicas de los suelos (Havlin et al., 1990; Studdert y Echeverría, 2000; Cordone et al., 2005). La rotación de cultivos anuales se muestra como una alternativa viable para incorporar residuos en mayor cantidad y calidad, raíces de distinta arquitectura y actividad biológica y coberturas de suelo que reducen los impactos erosivos del agua y el viento.

3. *Nutrición balanceada*: Este término pretende definir los sistemas en los cuales se proveen nutrientes a los cultivos y al suelo de manera de cubrir las demandas de los cultivos manteniendo la capacidad productiva de los suelos, es decir preservando su fertilidad original. Puede ser definido a través de otros términos equivalentes tales como nutrición del sistema o fertilización de la rotación.

El consumo de fertilizantes en Argentina aumento considerablemente entre 1991 y 2006, pasando de algo mas de 300 mil toneladas en 1991 a mas de 3 millones de toneladas en 2006 (Fig. 2). Este incremento en el uso de fertilizantes acompaño el incremento en la producción de granos en los últimos años y, sin lugar a dudas, contribuyó de manera significativa al aumento y mayor estabilidad de los rendimientos. La participación de la fertilización en el aumento de rendimientos puede ser estimada, según la información de la Fig. 3, en un aumento del rendimiento relativo de los cuatro principales cultivos de grano (Base 1991=100%) de casi 1% cada 100000 toneladas de incremento de consumo de fertilizantes.

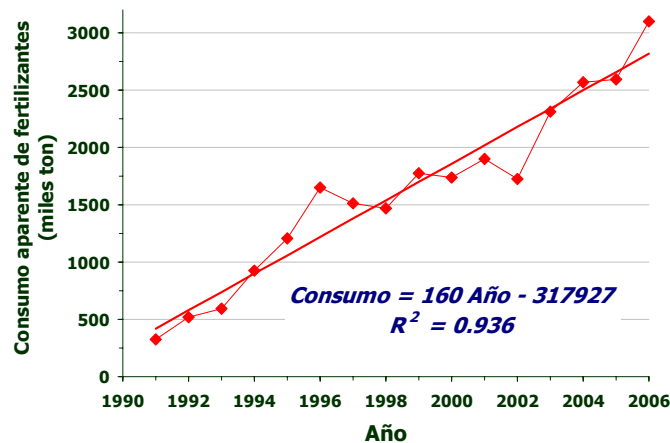


Figura 2. Evolución del consumo aparente de fertilizantes en Argentina para el período 1991-2006. Elaborado a partir de información de SAGPyA y Fertilizar AC.

El notable aumento en el consumo de fertilizantes no ha permitido mejorar los balances de nutrientes

como nitrógeno (N), P, potasio (K) y azufre (S) (Fig. 4). La estimación de extracción en grano y la aplicación de N, P, K y S en los cuatro principales cultivos de grano indica que, para la campaña 2005/06, se repuso vía fertilización el 27%, 43%, menos del 1% y el 21% del N, P, K y S, respectivamente, extraídos en los granos, cifras similares a las que se han observado en los últimos 5-6 años.

Los desbalances de nutrientes han disminuido la disponibilidad de nutrientes en los suelos, algo que puede ser claramente visualizado a través de las caídas de P extractable (P Bray 1) (García, 2001) y la creciente deficiencia de S en numerosas áreas de la región pampeana. La MOS ha sido la principal fuente de N, P y S para los cultivos a lo largo de estos casi 100 años de agricultura, fundamentalmente a partir de los nutrientes contenidos en las fracciones más lábiles. A modo de ejemplo, en el sur de Santa Fe, zona núcleo de producción de granos, se han registrado disminuciones de MOS del orden del 3-5% que, considerando las concentraciones modales de N, P y S en la MOS, representan aproximadamente 3000-5000 kg/ha de N y 300-500 kg/ha de P y S. La adecuada nutrición de cultivos y suelos deberá considerar estos desbalances además de los resultados económicos directos de la práctica de fertilización y/o abonado.

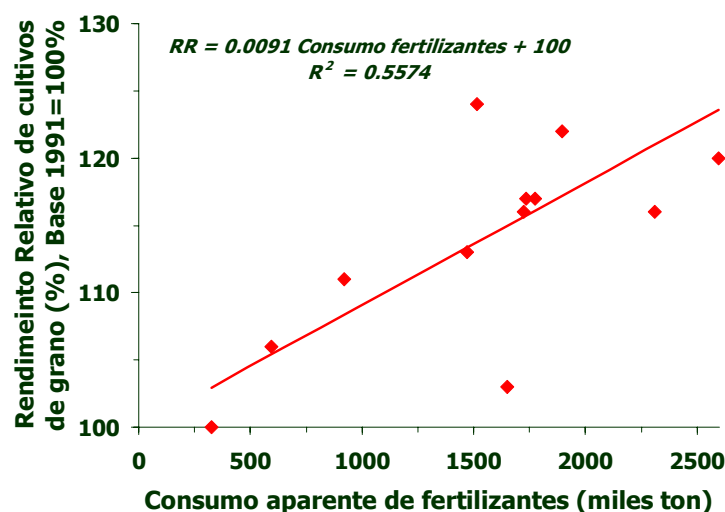


Figura 3. Rendimiento relativo de cultivos de grano (Base 1991=100%) y consumo de fertilizantes en Argentina en el período 1991-2005.

Intensificación ecológica en sistemas de producción de granos de la región pampeana

Intensificación ecológica es un concepto generado por investigadores de la Universidad de Nebraska en EE.UU., para definir sistemas de producción de alto rendimiento sustentables desde el punto de vista productivo, económico y ambiental (Dobermann y Cassman, 2002; Dobermann, 2005). La posibilidad de lograr altos rendimientos en suelos aptos para el cultivo y reducir la expansión agrícola hacia tierras menos aptas para el cultivo, es una alternativa válida en pos de satisfacer la demanda de granos a nivel mundial, maximizar la eficiencia productiva y económica del uso de recursos e insumos, y preservar y/o mejorar la calidad del ambiente.

La nutrición balanceada de suelos y cultivos es un componente esencial de los planteos de intensificación ecológica. La intensa labor de investigación y experimentación realizada en los últimos años permite disponer de un caudal significativo de información acerca del manejo de la nutrición balanceada en sistemas de cultivos de grano en la región pampeana argentina (Díaz Zorita et al., 2002b; Díaz Zorita, 2005; Salvagiotti et al., 2005; García y Díaz Zorita, 2006; García et al., 2006; García, 2007). Esta información fue generada por las estaciones experimentales de INTA, las universidades, las asociaciones de productores como AACREA y AAPRESID, distintos grupos o asociaciones de profesionales y productores, y

organizaciones como la Asociación Civil Fertilizar (anteriormente Proyecto INTA Fertilizar) e IPNI Cono Sur (anteriormente INPOFOS Cono Sur). Como estudio de caso, se presentan a continuación los resultados obtenidos en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe, un proyecto conjunto de CREA Sur de Santa Fe, IPNI Cono Sur y Agroservicios Pampeanos (ASP) (García et al., 2006).

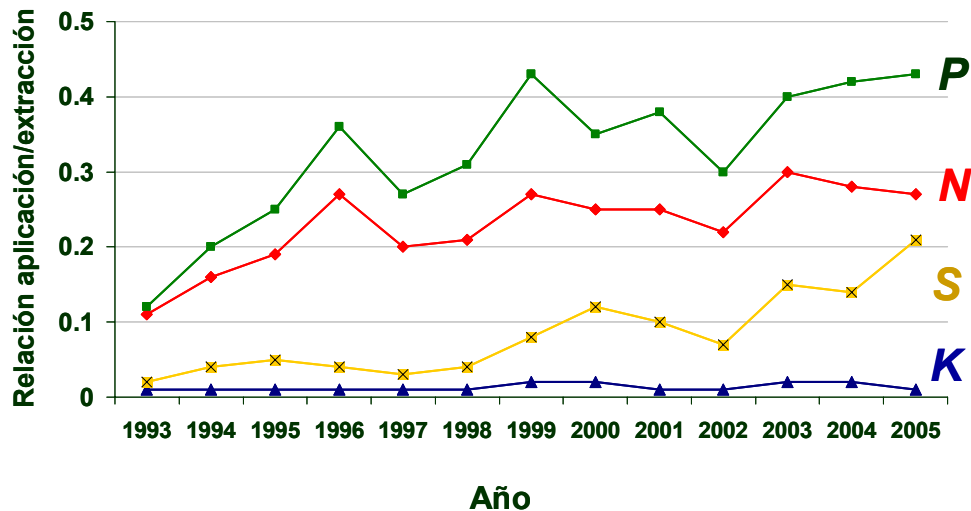


Figura 4. Relación aplicación/extracción de N, P, K y S para cultivos de grano en Argentina en el período 1993-2005.

La Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

Esta red experimental se estableció en la campaña agrícola 2000/01 con once sitios de ensayo en campos de agricultores bajo sistemas de siembra directa estabilizados: cinco sitios bajo rotación maíz-trigo/soja (M-T/S), tres cultivos en dos años, y seis sitios bajo rotación maíz-soja-trigo/soja (M-S-T/S), cuatro cultivos en tres años. Los suelos de la zona son principalmente Hapludoles y Argiudoles típicos. En los once sitios se plantearon ensayos de fertilización con seis tratamientos dispuestos en un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos de fertilización se aplican anualmente siempre en las mismas parcelas de modo de evaluar los efectos directos y residuales del manejo de nutrición a lo largo de los años, e incluyen: 1. Testigo, 2. PS, 3. NS, 4. NP, 5. NPS, y 6. NPS+Micronutrientes (B, Cu y Zn). Las dosis de aplicación de N se estiman a partir de información zonal para lograr altos rendimientos, y las de P y S se estiman a partir de la extracción de estos nutrientes en los granos más un 10%. No se aplica N si el cultivo del año es soja de primera (ciclo completo). Mas información se encuentra disponible en García et al. (2006) y en el sitio web www.ipni.net.

La fertilización balanceada con N, P y S, nutrientes típicamente deficientes en la zona de estudio, permitió obtener respuestas de 49, 65, 7 y 20%, promedios de las dos rotaciones, en maíz, trigo, soja de primera (ciclo completo) y soja de segunda (doble cultivo luego de trigo), respectivamente, en los primeros seis años de evaluación (Fig. 5). Las aplicaciones de micronutrientes (boro, cobre y zinc), en general, no afectaron significativamente los rendimientos.

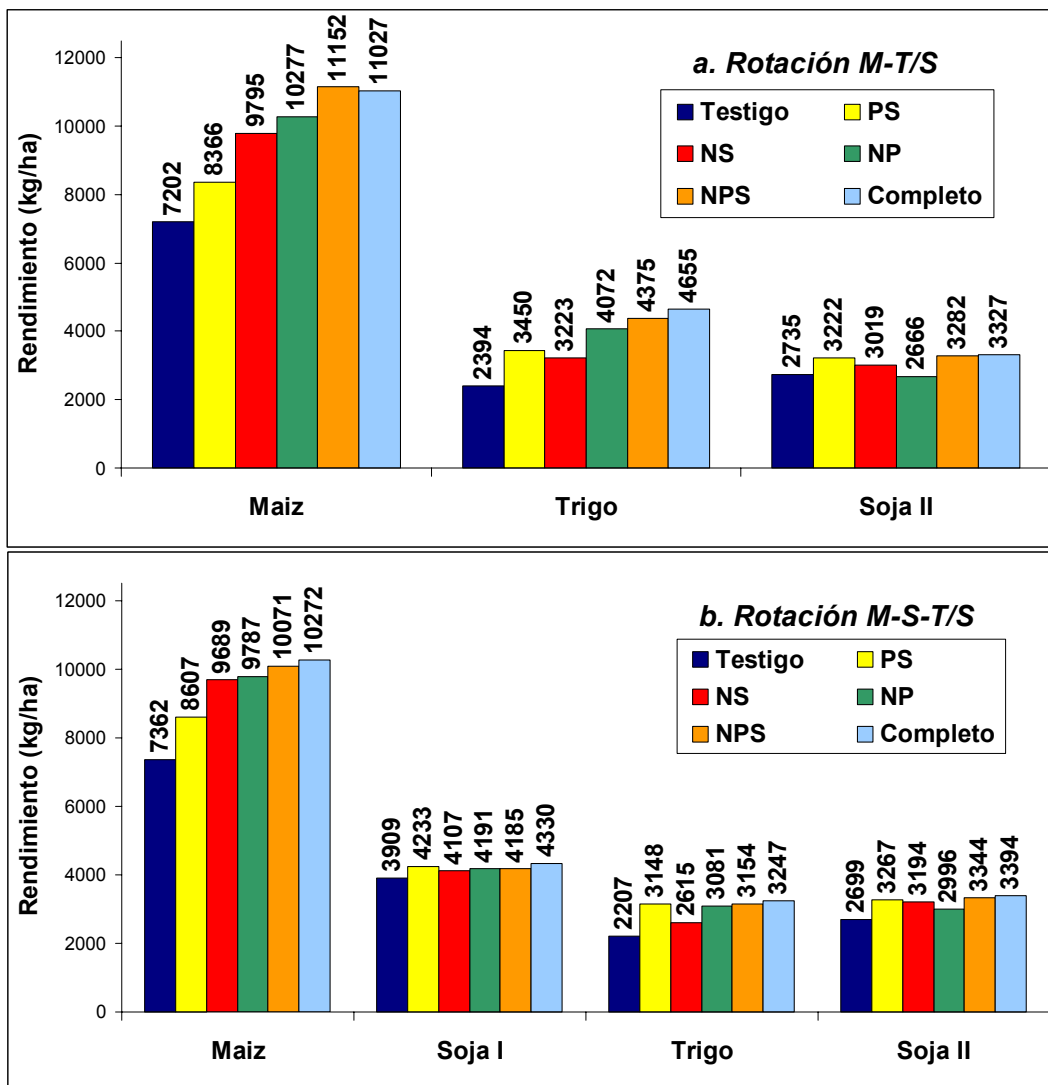


Figura 5. Rendimientos promedios de los cuatro cultivos en las dos rotaciones (maíz-trigo/soja, M-T/S, y maíz-soja-trigo/soja, M-S-T/S). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe 2000-2005 (García et al., 2006).

Las eficiencias de uso de N, P y S para cada uno de los cuatro cultivos se muestran en la Tabla 2. Las eficiencias de N para maíz son más elevadas en la rotación más intensiva (M-T/S). Para trigo, las eficiencias de uso de N son bajas, especialmente en la rotación M-S-T/S, debido a los efectos negativos de enfermedades foliares y *Fusarium* sobre los rendimientos del cultivo. Las eficiencias de uso de P fueron mayores en la rotación M-T/S para todos los cultivos por los menores niveles de P Bray 1 en estos sitios con respecto a los sitios de rotación M-S-T/S. De la misma manera, las eficiencias de uso de S fueron mayores bajo M-T/S, donde los sitios presentan una historia agrícola más prolongada que bajo M-S-T/S.

Los valores de productividad de factor parcial (PFP), cociente entre el rendimiento y la cantidad de nutriente aplicado, para N en maíz son superiores en un 45-52% a los reportados por Dobermann y Cassman (2002) para el promedio de EE.UU., mientras que los de P son superiores en un 6%. Este parámetro PFP está fuertemente afectado por el abastecimiento N, P o S del suelo ya que considera el rendimiento y no la respuesta, pero es de utilidad para evaluar la eficiencia de uso de nutrientes a nivel global.

Tabla 2. Eficiencias de uso y productividad de factores parciales para N, P y S en maíz, trigo y soja, promedios para dos rotaciones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe 2000-2005 (García et al., 2006).

Cultivo	Eficiencia de uso (kg respuesta/kg aplicado)			Productividad de factor parcial (PFP) (kg rendimiento/kg aplicado)		
	N	P	S	N	P	S
<i>Rotación Maíz-Trigo/Soja</i>						
Maíz	21	43	40	87	383	538
Trigo	6	21	10	27	82	154
Soja II	-	6	28	-	83	155
<i>Rotación Maíz-Soja-Trigo/Soja</i>						
Maíz	13	11	14	91	383	504
Trigo	0.3	12	4	28	79	149
Soja I	-	7	5	-	135	192
Soja II	-	5	24	-	83	155

Las respuestas observadas en los cuatro cultivos confirman los beneficios del uso de los análisis de suelos en la toma de decisiones de las necesidades de fertilización. La disponibilidad de N-nitratos a la siembra se relacionó con las respuestas a N en trigo y maíz (Fig. 6), y el nivel de P Bray 1 a la siembra con la respuesta a P en los cuatro cultivos. El análisis de S-sulfatos en suelo (0-20 cm) permitió predecir la respuesta a S en maíz y soja de segunda (García et al., 2006).

Los balances de P positivos, al fertilizarse con dosis superiores en un 10% a la extracción de P en grano, permitió incrementar los niveles de P Bray 1 de 11 a 24 ppm y de 25 a 38 ppm en las rotaciones M-T/S y M-S-T/S, respectivamente. Al mismo tiempo, los niveles de P Bray 1 disminuyeron en 1 y 3 ppm en las rotaciones M-T/S y M-S-T/S, respectivamente, cuando no se aplicó fertilizante fosfatado. No se observaron efectos residuales de N y S en los primeros seis años de evaluación.

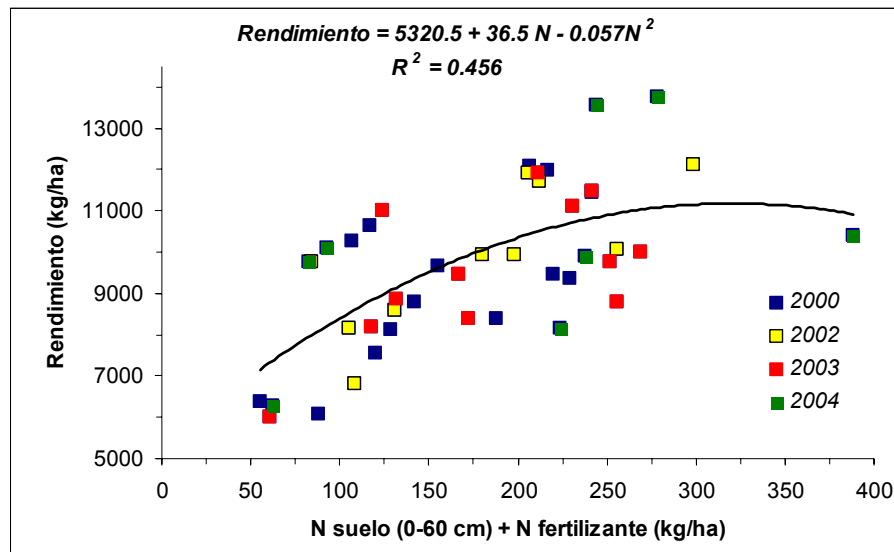


Figura 6. Rendimiento de maíz en función de la disponibilidad de N a la siembra del cultivo (N-nitratos suelo + N-fertilizante). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe 2000-2005 (García et al., 2006).

La MOS aumentó significativamente en el tratamiento NPS en tres de los cinco ensayos de la rotación M-T/S, mientras que no se observaron diferencias en la rotación M-S-T/S (Fig. 7). Esta diferencia entre rotaciones podría estar demostrando las ventajas de contar con una gramínea (maíz o trigo) que recibe N todos los años y produce mayor cantidad de residuo que la soja de ciclo completo.

El pH disminuyó entre 0.1 y 0.2 con fertilizaciones NPS. Si bien, dados los pH neutros originales,

estas reducciones de pH no implican problemas de acidificación hasta el momento, este parámetro debe seguir siendo evaluado en los próximos años.

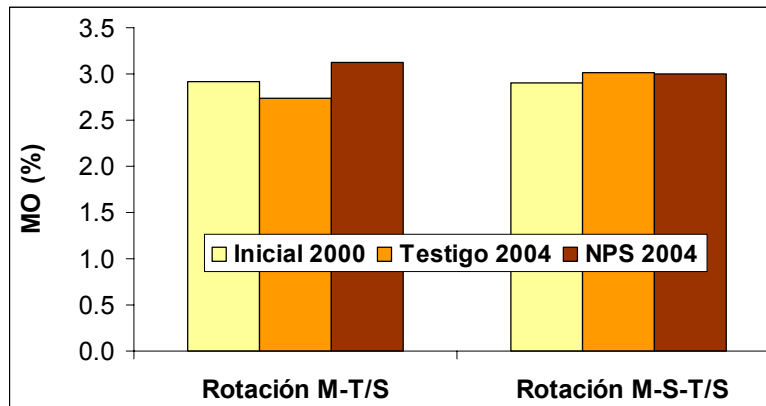


Figura 7. Materia orgánica del suelo (MO) al inicio de los ensayos (2000) y en los tratamientos Testigo y NPS luego de 4 años (2004) en rotaciones maíz-trigo/soja (M-T/S) y maíz-soja-trigo/soja (M-S-T/S), promedios de cinco y seis ensayos, respectivamente. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe 2000-2005 (García et al., 2006).

Los resultados obtenidos en los primeros seis años de esta Red indican que la reposición anual de P y S extraídos por los granos y el manejo de N para altos rendimientos podrían promover un ambiente edáfico de mejor calidad para el crecimiento de los cultivos que podría englobarse bajo un concepto de “acumulación de fertilidad”, y podría explicarse, entre otros aspectos, por:

- el logro de mayores rendimientos en grano que están asociados a mayores acumulaciones de rastrojo y, por lo tanto, a una mayor incorporación de carbono (C) al suelo;
- un mayor crecimiento y proliferación de raíces; y
- un mejor uso del agua (mayor infiltración, menor evaporación)

Los efectos de acumulación de fertilidad promoverían cambios en el ambiente edáfico en cuanto a sus condiciones químicas, físicas y biológicas, que se pueden observar parcialmente en los incrementos de MOS en la rotación M-T/S. Estos efectos de acumulación de fertilidad se verificaron en las diferencias de rendimiento crecientes observadas entre los tratamientos Testigo y NPS en los cuatro cultivos y para las dos rotaciones (Fig. 8), y, en uno de los sitios en los que no se aplicaron los tratamientos en los dos últimos años (Fig. 9). La Fig. 8 muestra como se amplían las diferencias de rendimiento entre los tratamientos Testigo y NPS a medida que el Testigo va perdiendo fertilidad y el NPS va acumulando. La Fig. 9 muestra los rendimientos de trigo/soja (2004) y de maíz (2005) sin aplicación de los tratamientos en esos dos años y luego de 4 años de experimentación (2000-2003). Las diferencias por efecto residual de aplicaciones NPS en los cuatro años anteriores son de 2204 kg/ha, 559 kg/ha y 1031 kg/ha en trigo, soja II y maíz, respectivamente, aun cuando estos cultivos fueron fertilizados con N, P y S a la siembra de los mismos.

La Red permite evaluar resultados económicos de la fertilización de reposición a mediano y largo plazo. Estos resultados varían con el nivel de deficiencia de nutrientes y según los cultivos incluidos en la rotación (Fig. 10). La rotación M-T/S mostró los mejores márgenes, especialmente con la fertilización NPS que resultó en un margen bruto promedio de 109 U\$/ha por año. Este mayor margen con la aplicación balanceada de los tres nutrientes se basa en las respuestas observadas a N, P y S en maíz, N y P en trigo y P y S en soja de segunda en sitios con deficiencia de estos nutrientes. En la rotación M-S-T/S, los márgenes fueron mucho menores por 1) el menor número de cultivos de maíz, cultivo que presenta alta respuesta a N, 2) la baja respuesta a P en todos los cultivos dados los buenos niveles de P Bray en suelo en los sitios de esta rotación y 3) la menor respuesta relativa de soja de primera respecto de los otros cultivos.

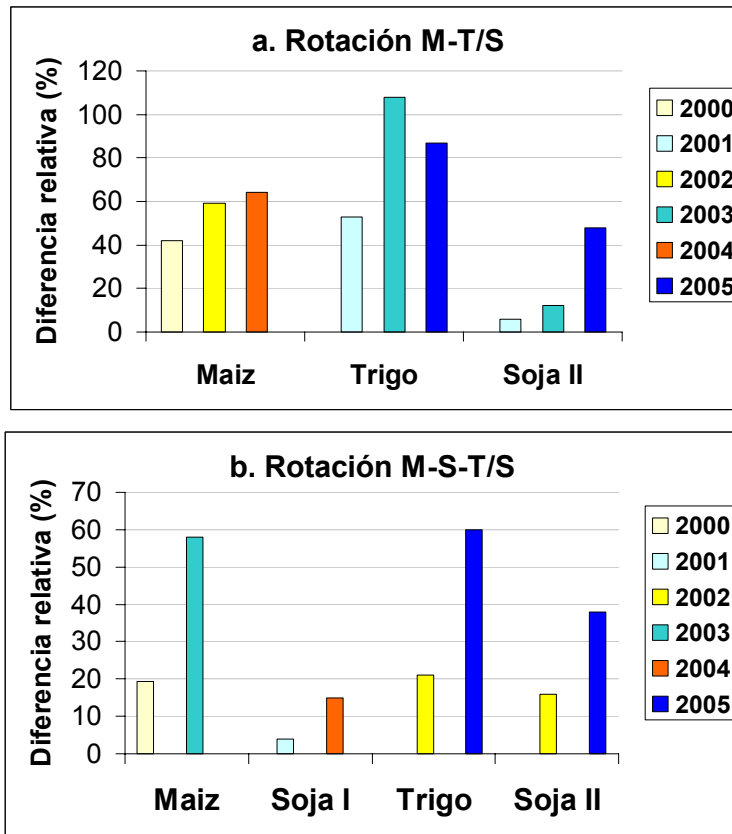


Figura 8. Diferencias relativas promedio de los rendimientos en grano entre los tratamientos Testigo y NPS para las rotaciones M-T/S (a) y M-S-T/S (b). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe 2000-2005 (García et al., 2006).

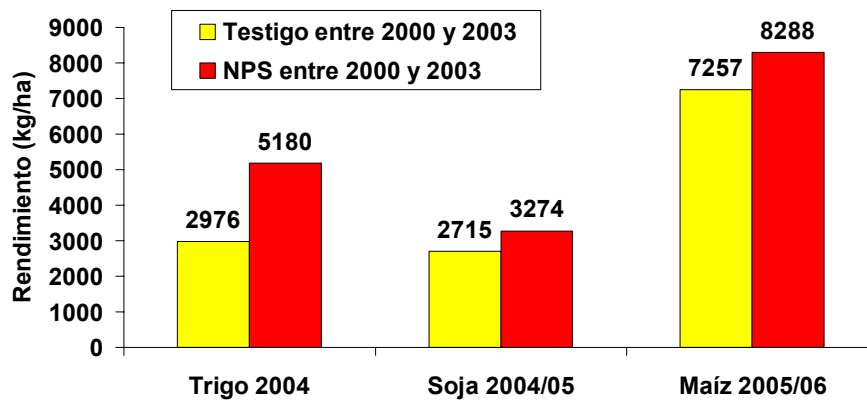


Figura 9. Rendimientos de trigo y soja de segunda en 2004/05 y de maíz en 2005/06 sobre parcelas que recibieron tratamientos Testigo y NPS en los cuatro años previos (2000-2003). El doble cultivo trigo/soja (2004) recibió una fertilización de 86, 27 y 10 kg/ha de N, P y S, respectivamente, y el maíz (2005) de 88, 26 y 10 kg/ha de N, P y S, respectivamente, en todas las parcelas. Ensayo El Fortín, Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe 2000-2005 (García et al., 2006).

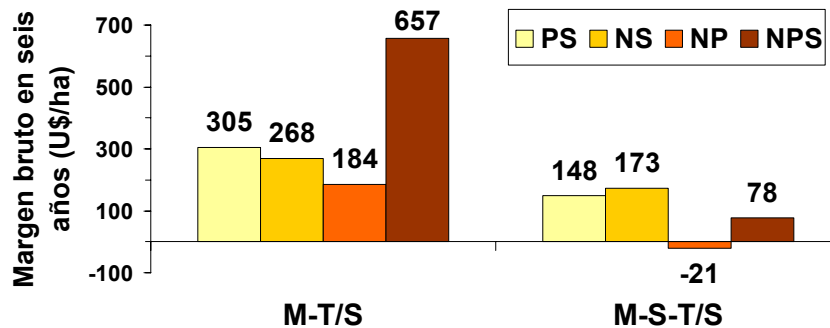


Figura 10. Margen bruto acumulado (dólares por ha) en seis años (2000/01 a 2005/06), para los promedios de las rotaciones M-T/S y M-S-T/S. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe 2000-2005 (Adaptado de García et al., 2006).

Los resultados de esta red de ensayos en campos de producción demuestran la posibilidad de manejar sistemas intensificados de cultivos extensivos en rotación, bajo SD y con fertilizaciones balanceadas. Bajo estas condiciones, se alcanzaron altos rendimientos con beneficios productivos y económicos, se mejoraron los balances de nutrientes en los suelos y se indujeron cambios positivos en el ambiente del suelo.

Comentarios finales

La posibilidad de maximizar los rendimientos y las eficiencias de uso de recursos e insumos en sistemas agrícolas sustentables, evitando la habilitación de tierras de menor aptitud agrícola y/o afectando el ambiente negativamente (degradación de suelos, aguas y aire, biodiversidad, etc.), es un objetivo prioritario para la agricultura del siglo XXI. Sin embargo, los desafíos que presenta este objetivo son permanentes y se renuevan a diario. En este escrito se describieron las condiciones actuales de la producción de granos en Argentina y se discutió el caso de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, como posibilidad de intensificación ecológica de los sistemas de producción. Existen numerosos desafíos para la producción sustentable de granos de la región pampeana, que probablemente sean comunes a otras regiones de Latinoamérica y el mundo, algunos de los cuales se listan a continuación:

- ¿Cuales son las brechas de rendimiento que nos separan de los potenciales? ¿Como las eliminamos?
- ¿Debemos incorporar otras prácticas de manejo de suelos y/o cultivos para lograr la sustentabilidad de los sistemas? ¿Introducir cultivos de cobertura? ¿Una mayor proporción de doble cultivo (trigo-soja, girasol-soja, maíz soja, otras especies)? ¿Intercultivos,?¿Un mayor número de cultivos por año en ambientes de muy buena aptitud agrícola?
- ¿Es la MOS el mejor indicador de calidad de suelo que disponemos? ¿Otras propiedades químicas, físicas y/o biológicas?
- ¿Cuales son los niveles de fertilización nitrogenada que debemos manejar en los cultivos de maíz y trigo para altos rendimientos sin generar pérdidas ambientales de N?
- ¿Cómo reducimos el déficit de N que genera la presencia frecuente de soja en la rotación?
- ¿Podemos mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes fosfatados utilizando nuevas tecnologías de fertilización?
- ¿Como debemos manejar el azufre (dosis, fuente, momento, forma de aplicación)?¿Que análisis a nivel general es adecuado para el diagnóstico del nivel de azufre en suelos?
- ¿Que otros nutrientes debemos incluir en nuestros programas de fertilización?
- ¿Cuales son las posibilidades de utilización de la agricultura sitio-especifica?
- ¿Qué posibilidades nos ofrece la biotecnología para mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes

y otros recursos e insumos?

- ¿Que oportunidades y desafíos nos ofrece el desarrollo de los biocombustibles?

Como científicos, debemos generar y difundir los conocimientos que den respuesta a estos desafíos e interrogantes en la búsqueda permanente del paradigma de sustentabilidad.

Referencias

- Alvarez R. 2001. Estimation of carbon losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using the Century model. *Soil Use & Management* 17:62-66.
- Andriulo A. y G. Cordone, 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la material orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. *In* Siembra directa. J. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzo and R. Gil (Eds.). Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp. 65-96.
- Casas R. 1998. Causas y evidencias de la degradación de los suelos de la región pampeana. *In* O. Solbrig y L. Vainesman (ed.). *Hacia una agricultura productiva y sostenible en la pamapa*. Harvard University-CPIA. Buenos Aires, Argentina. P. 99-129.
- Cordone G., F. Martínez, A. Andriulo y H. Ghio. 2005. El balance de carbono del suelo. *Conociendo el suelo*. AAPRESID. Rosario, Santa Fe. p. 9-12.
- Díaz-Zorita, M. 2005. Balance de nutrientes y principales criterios de fertilización de cultivos en Argentina. Simposio Binacional “Impacto de la Intensificación Agrícola en el Recurso Suelo”, Octubre 6 y 7, Colonia del Sacramento, Uruguay, in CD.
- Díaz Zorita M., G. Duarte y J. Grove. 2002a. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65:1-18.
- Díaz Zorita M., F. García y R. Melgar (coord.). 2002b. Fertilización en soja y trigo-soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. *Boletín Proyecto Fertilizar*. EEA INTA Pergamino. 44 pag.
- Dobermann A. 2005. Avances en el manejo de nutrientes en sistemas de cultivos basados en maíz en el Medio oeste de EE.UU. *En* F. García y F. Micucci (ed.). Simposio “Fertilidad 2005”. INPOFOS Cono Sur-Fertilizar AC. p. 13-24. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Dobermann A. y K. Cassman. 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil* 247: 153–175.
- Fabrizzi K. P., A. Morón y F. O. García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1831-1841.
- García, F. 2001. Phosphorus balance in the Argentine Pampas. *Better Crops Int.* 15: 22-24.
- García F. 2007. Requerimientos nutricionales del cultivo: Respuestas a la fertilización. *In* E. Satorre (ed.). *Producción de trigo*. 1a. edición. AACREA. Buenos Aires, Argentina. pp. 37-42. ISBN 978-987-22576-8-2.
- García F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, G. Deza Marin y A. Berardo. 2006. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. AACREA. 32 pp. ISBN 987-22576-7-1.
- García, F., y M. Díaz-Zorita. 2006. Nutrición y fertilización: Balances, Modelos de Diagnostico e Interacciones. *A Todo Trigo*, 21-28.
- Gregory E. y C. Drury. 1996. Fertilizer increases corn yield and soil organic matter. *Better Crops* 80(4): 3-5. Potash and Phosphate Institute. Norcross, Georgia, EE.UU.
- Havlin J.L., D. Kissel, L. Maddux, M. Claassen, y J. Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:448-452.
- Karlen D., E. Hurley, S. Andrews, C. Cambardella, D. Meek, M. Duffy y A.P. Mallarino. 2006. Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. *Agron. J.* 98:484-495.
- Larson W. y F. Pierce. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. P.37-51. *In* J. Doran et al. (ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Sci. Soc. America. Spec. Pub. No. 35. Madison, EE.UU..
- Morón A. 2004. Efecto de las rotaciones y el laboreo en la calidad del suelo. *In* Simposio “Fertilidad 2004”. INPOFOS Cono Sur-Fertilizar AC. pp. 29-36.

- Peterson G., D. Westfall, L. Sherrod, D. Poss, K. Larson, D. Thompson y L. Ahuja. 1998. Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin 98-1. Colorado Agricultural Experimental Station. Fort Collins, CO, EE.UU.
- Sá J.C.M., C. Cerri, W. Dick, R. Lal, S. Venske Filho, M. Piccolo y B. Feigl. 2001. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a brazilian oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1486-1499.
- Salvagiotti F., G. Gerster, S. Bacigaluppo, J. Castellarín, C. Galarza, N. González, V. Gudelj, O. Novello, H. Pedrol, y P. Vallote. 2005. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Ciencia del Suelo* 22(2):92-101.
- Studdert G., y H. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Studdert G. y H. Echeverría. 2002. Agricultura continua, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. *En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2002"*. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 52 pág.
- Urricarriet S. y R. Lavado. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa ondulada. *Ciencia del Suelo* 17 (1): 37-44.