



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

INSTITUTO INTERNACIONAL
DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

WWW.IPNI.NET

PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR



DICIEMBRE
2010

CONTENIDO

- ✦ BALANCES DE NUTRIENTES EN ARGENTINA
- ✦ SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA AMBIENTALMENTE SUSTENTABLES
- ✦ ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL PERFIL DEL SUELO
- ✦ REQUERIMIENTOS DE NUTRIENTES EN MAÍZ
- ✦ TECNOLOGÍA DE LA FERTILIZACIÓN AZUFRADA

BALANCES DE NUTRIENTES EN ARGENTINA ¿CÓMO ESTAMOS? ¿CÓMO MEJORAMOS?

Fernando O. García¹ y María Fernanda González Sanjuan²

¹IPNI Cono Sur – Av. Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires, Argentina. fgarcia@ipni.net

²Fertilizar Asociación Civil, mfgonzalez@fertilizar.org.ar

Una agricultura productiva sustentable requiere del uso adecuado de tierras (ordenamiento territorial), el control de los procesos erosivos y de desertificación, y el mantenimiento y/o mejoramiento de los recursos suelo, agua y aire. La intensificación productiva sustentable, definida como la mayor y más eficiente producción por unidad de recurso y/o insumo involucrado, se presenta como una alternativa válida para alcanzar estos objetivos.

La intensificación debe responder a los objetivos del productor: *productividad (P)*, *rentabilidad (R)*, *durabilidad del sistema de producción (D)* y *ambiente saludable (A)*. Por otra parte, estos objetivos deben responder a los objetivos de sustentabilidad económica, ambiental y social comunes a toda la sociedad (Bruulsema *et al.*, 2008).

El manejo de los fertilizantes, y nutrientes en general, debe compatibilizarse con y responder a los cuatro objetivos del productor (P, R, D y A), por lo que las mejores prácticas de manejo (MPM) de nutrientes y fertilizantes se consideran un subconjunto de las mejores prácticas de manejo de cultivos a nivel de lote y/o establecimiento. Las MPM se definen en términos

de la aplicación de la fuente correcta del nutriente, en la dosis correcta, en la localización correcta y en el momento correcto (4Cs) (Bruulsema *et al.*, 2008). La Figura 1 muestra la relación existente entre los distintos niveles discutidos, las MPM de fertilizantes insertadas en el manejo productivo, rentable, sustentable y cuidadoso del ambiente de los cultivos, para responder a los criterios de sustentabilidad económica, ecológica y social demandados por la

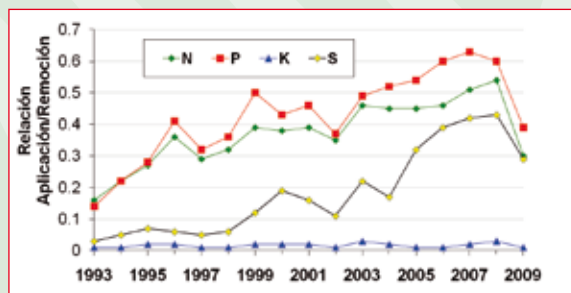


Figura 3. Evolución de la relación aplicación/extracción en grano de N, P, K y S para los cuatro principales cultivos de grano (soja, maíz, trigo y girasol) en Argentina entre 1993 y 2009.

Director: Dr. Fernando O. García

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR

Av. Santa Fe 910

(B1641ABO) Acassuso – Argentina

Tel/Fax (54) (011) 4798-9939

E-mail: fgarcia@ipni.net

Sitio Web: www.ipni.net/lasc



Propietario: International Plant Nutrition
Institute (IPNI)

ISSN 1666 - 7115

No. de Registro de Propiedad Intelectual: 869378

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se cite la fuente y el autor.

Diseño: Agroeditorial agroeditorial@amatthiess.com.ar

Impresión: Grancharoff Impresores

Contenido:

Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? _____	1
¿Nuestros actuales sistemas de producción agrícola son ambientalmente sustentables? _____	6
Modelos de regresión sencillos para estimar el con- tenido de agua en todo el perfil usando la humedad superficial _____	11
Nutrición de Maíz: Requerimientos y Absorción de Nutrientes _____	14
Tecnología de la fertilización azufrada en la Región Pampeana. Estado actual y tendencias _____	19
Congresos y Publicaciones _____	26



Figura 1. Marco global para las mejores prácticas de manejo (MPM para el uso de los fertilizantes), las 4Cs (Adaptado de Bruulsema *et al.*, 2008).

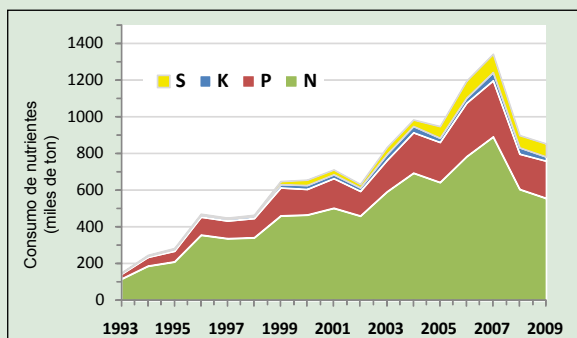


Figura 2. Evolución del consumo de nutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre y potasio) en Argentina entre 1993 y 2009. Fuente: Elaboración propia en base a datos MinAgri y Fertilizar AC.

sociedad. Este marco general enfatiza la necesidad de implementar las MPM de los fertilizantes, a partir de principios científicos probados, que son globales y también aplicables a nivel de establecimiento.

La aplicación de los principios científicos difiere ampliamente según el sistema de producción considerado (características ecológicas de la región, rotaciones, etc.). Ejemplos de principios científicos aplicables para el desarrollo de las MPM son el conocimiento de los procesos y mecanismos de las transformaciones de los nutrientes, de la interacción entre nutrientes entre sí y con otros factores de producción, de los efectos sobre calidad de los suelos y cultivos, de la compatibilidad de mezclas fertilizantes, etc.

Las MPM deben ser evaluadas a través de indicadores que reflejen el impacto combinado de las mismas a nivel regional, nacional y global (Figura 1). El balance de nutrientes es uno de los indicadores utilizados para evaluar las MPM de uso de fertilizantes.

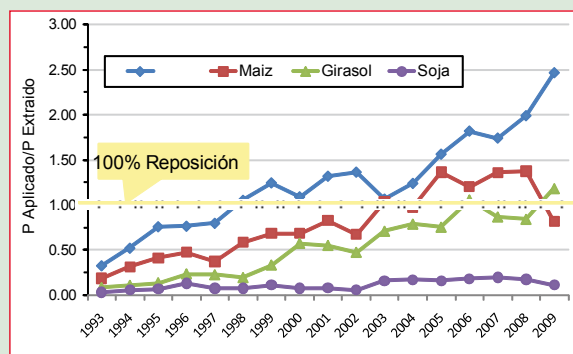


Figura 4. Evolución de la relación aplicación/extracción de P en grano para soja, maíz, trigo y girasol en Argentina entre 1993 y 2009.

Consumo de fertilizantes en Argentina

El consumo de fertilizantes en Argentina se ha incrementado fuertemente en los últimos 15 años. En términos de nutrientes, el consumo era de 150 mil toneladas de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) en 1993, y alcanzó 1.345.000 toneladas en 2007 para los mismos cuatro nutrientes (Figura 2). En 2008 y 2009, se registró una reducción de consumo como resultado de las condiciones de sequía y económicas. Los cultivos de grano (trigo, maíz, soja y girasol) explican el 75% del consumo total de fertilizantes. Estimaciones recientes indican que el 95%, 90%, 50% y 60% del área sembrada con trigo, maíz, soja y girasol, respectivamente, reciben algún tipo de fertilización.

Balance de nutrientes

Los balances de nutrientes en el sistema suelo-planta se pueden considerar a distintas escalas de tiempo y espacio. El esquema de balances parciales contempla la estimación de los mismos a partir de las entradas

y salidas de los nutrientes en el suelo durante un periodo determinado. Para los cultivos anuales de producción de grano, el periodo considerado es el de la estación de crecimiento, y la estimación del balance surge de comparar el aporte proveniente de las aplicaciones de nutrientes vía fertilización o a través de otras fuentes (estiércol, etc.) y la extracción de nutrientes en los granos u órganos de cosecha. Las relaciones aplicación/extracción en grano de N, P, K y S para los cuatro principales cultivos (soja, maíz, trigo, girasol) han mejorado durante los últimos años, pero los balances de nutrientes siguen siendo negativos (Figura 3). Las reposiciones más altas se alcanzaron en la campaña 2007 y disminuyeron en 2008 y 2009, estimándose para la campaña 2009/10 una reposición vía fertilización del 30%, 39%, menos del 1% y 29% de N, P, K y S, respectivamente.

La Figura 4 muestra la evolución de la reposición de P (aplicación/extracción en grano) para cada uno de los cuatro cultivos entre 1993 y 2009. Las aplicaciones de P en trigo y, en menor medida, en maíz han superado a las extracciones. La alta aplicación atribuida al trigo podría estar destinada parcialmente

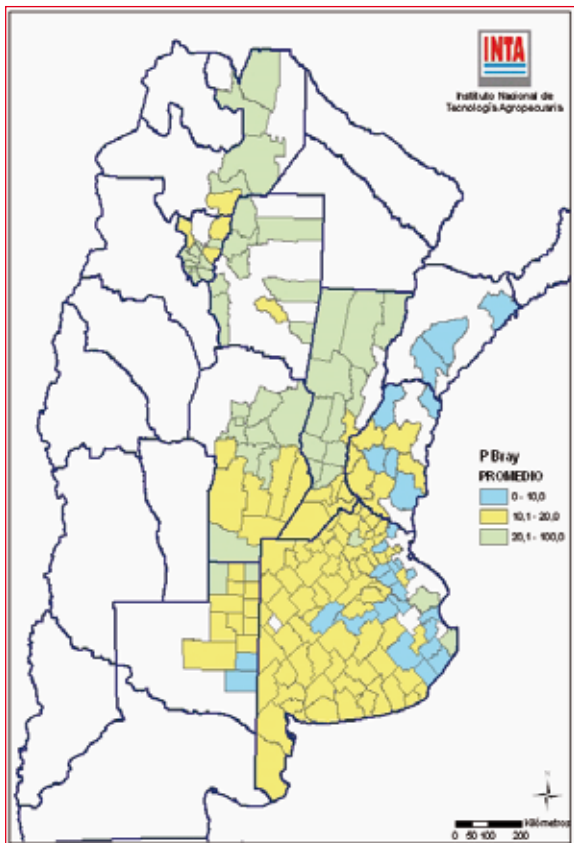


Figura 5. Mapa de P Bray 1 (0-20 cm) para partidos o departamentos de provincias argentinas. Total de 34447 muestras de las campañas 2005 y 2006, con una distribución de 64% de la provincia de Buenos Aires, 16% de Santa Fe y 11% de Córdoba (Sainz Rozas et al., 2008).

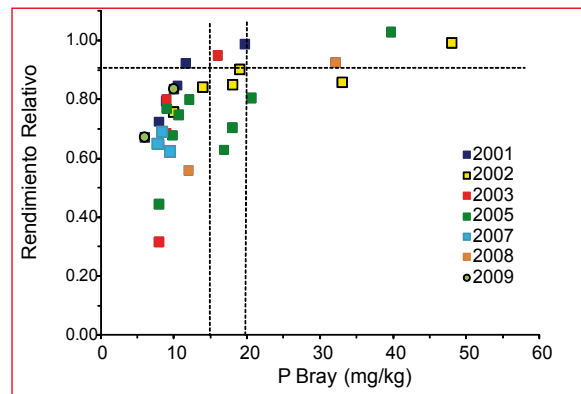


Figura 6. Rendimiento relativo de trigo en función del nivel de P Bray 1 (0-20 cm) en la Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Fuente: CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP (Boxler et al., 2010).

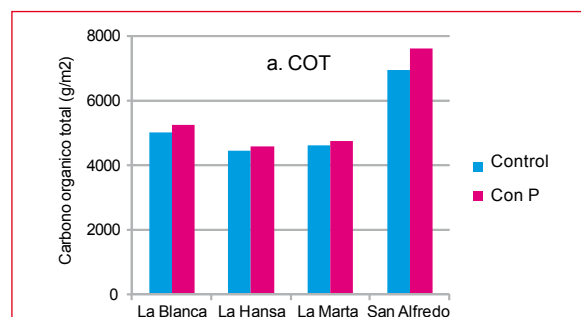


Figura 7. Carbono orgánico total (0-20 cm) en tratamientos sin y con aplicación de fósforo durante seis años en cuatro ensayos de la Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe (Ciampitti et al., 2010).

al cultivo de soja de segunda que lo sucede en la rotación. De todas maneras, la reposición de P en soja ha sido muy baja generando un importante balance negativo cuando se consideran los cuatro cultivos (Figura 3).

Estas estimaciones muestran la tendencia a nivel país, sin embargo, los balances a nivel regional, local o de establecimiento pueden ser muy variables. Asimismo, debe tenerse en cuenta que no siempre un balance neutro o positivo indica una MPM de fertilizantes y un claro ejemplo es lo que ocurre con K. Los niveles de disponibilidad de K en el suelo son elevados en la mayor parte de los suelos bajo producción de granos en Argentina, por lo cual no tiene sentido productivo, ni económico, ni ambiental, reponer el K extraído. Sin lugar a dudas debemos ser conscientes de esos balances negativos del nutriente y evaluar periódicamente su evolución en el suelo, el cual inevitablemente irá disminuyendo en la medida que se intensifique más la producción.

¿Por qué es importante considerar el balance de nutrientes?

Los balances negativos reducen la cantidad y disponibilidad de nutrientes en los suelos afectando:

- la calidad (fertilidad) de los suelos
- los rendimientos de los cultivos
- la sustentabilidad de los sistemas de producción

Considerar los balances de nutrientes es estratégico para el desarrollo de una agricultura productiva sustentable. Un ejemplo relevante es el caso del P. Las reservas mundiales de P son limitadas, por lo tanto, se espera que su oferta pueda disminuir en futuros años y/o su precio se incremente. Siendo el P un insumo limitante de nuestros agro-ecosistemas, el desarrollo de la agroindustria debería procurar el uso eficiente del mismo y evaluar las potenciales ventajas de mantener niveles adecuados de P en el suelo para los cultivos. Asimismo, deberían evaluarse fuentes de abastecimiento de P nacionales para disminuir la dependencia del abastecimiento externo.

La evaluación de la fertilidad fosfatada de los suelos en Argentina se basa en el análisis en pre-siembra que determina el nivel de P Bray a 0-20 cm. Esta metodología ha sido probada y recomendada para todos los cultivos. Las calibraciones sugieren niveles críticos por debajo de los cuales la probabilidad de respuesta es alta: rangos de 15-20, 9-14, 10-15 y 13-18 mg kg⁻¹ P Bray para trigo, soja, girasol y maíz, respectivamente. Estos umbrales son relativamente constantes para todas las zonas de producción de granos e independientes del rendimiento esperado del cultivo ya que el P es un nutriente inmóvil en el suelo. La Figura 5 muestra un mapa de P Bray

recientemente elaborado por INTA (Sainz Rozas *et al.*, 2008), e indica que una gran proporción de los suelos bajo producción se encuentra en niveles menores de 20 ppm. Los balances negativos de P han resultado en caídas en los niveles de P Bray en numerosas regiones.

El nivel de P extractable define la probabilidad de respuesta (Figura 6), y con ello la probabilidad de obtener un beneficio económico de la fertilización fosfatada. Las respuestas a la fertilización en suelos deficientes en P resultan en tasas de retorno de 2:1 o superiores. Es decir que se dispone de la herramienta tecnológica para decidir la fertilización desde el punto de vista productivo y económico.

La adopción de las MPM de fertilizantes también genera impactos ambientales positivos. La Figura 7 muestra como la fertilización fosfatada puede impactar en la acumulación de carbono orgánico del suelo (materia orgánica). La evaluación realizada en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe muestra que la fertilización fosfatada resultó en la acumulación de aproximadamente 3 toneladas de C en seis años. Las MPM también indican que las aplicaciones de P presentan efectos residuales, es decir que sus efectos se observan más allá del año de incorporación de fertilizante.

Asimismo, las MPM señalan que los efectos residuales de la fertilización nitrogenada son limitados estrictamente a situaciones en las cuales el N se asocia con C del suelo para generar compuestos orgánicos. Las formas inorgánicas de N, específicamente nitratos, son muy móviles y se pierden rápidamente de los suelos hacia napas freáticas, cursos de agua o se transforman a formas gaseosas como el N₂O, un potente gas de efecto invernadero. Por lo tanto, aplicar la dosis correcta de N para el cultivo inmediato es clave para el manejo sustentable. En este caso, los balances de N constituyen un indicador secundario de las MPM, siendo más significativos indicadores tales como la eficiencia de uso del N (EUN) o la calidad del agua y del aire.

¿Cuáles son los desafíos y necesidades a futuro en el manejo de los balances de nutrientes?

El manejo de balances de nutrientes debe insertarse en el marco de una agricultura productiva sustentable considerando todos los componentes del sistema de producción (recursos, insumos, procesos). Los desafíos que se presentan incluyen:

- Analizar los balances de nutrientes a escalas regionales y locales y no solamente nacional;
- Evaluar las posibles consecuencias de los balances actuales en calidad (fertilidad) de suelos, productividad y sustentabilidad de los sistemas;

- Generar acciones que permitan corregir las consecuencias negativas y maximicen la eficiencia de uso de los nutrientes en los sistemas de producción. Para enfrentar estos desafíos, surge una serie de necesidades de investigación, extensión, acciones del sector productivo y de políticas agropecuarias que deberían orientarse a:
 - Disponer de bases de datos actualizadas y a escalas locales en todo el país
 - Mayor foco en investigación, educación y extensión para:
 - Un mejor entendimiento de que un balance inadecuado de nutrientes limita la producción de alimentos, los resultados económicos y puede dañar el ambiente,
 - Identificar las mejores respuestas agronómicas y económicas a un nivel óptimo de fertilidad de suelo y de manejo de la nutrición de los cultivos,
 - Evaluar impactos asociados al ambiente (lixiviación, escorrentía, emisiones de los GEI, mejoras/mantenimiento en el stock de carbono en el largo plazo y otras)
 - Apoyo financiero y cooperación entre los sectores de la agroindustria, privados, gobierno y ONGs

Consideraciones finales

Las secciones anteriores buscan definir sintéticamente la situación actual de los balances de nutrientes en el país. Asimismo, se discuten brevemente algunos principios básicos de MPM que resultan en balances correctos para el nutriente o sistema en particular. Tres aspectos que definen el marco de la evaluación del balance de nutrientes son:

- La fertilidad de suelos es un componente significativo de la calidad del recurso suelo y tiene significativas implicancias productivas... pero no es el único,
- El balance de nutrientes es un indicador importante para evaluar las MPM de nutrientes y fertilizantes en los sistemas de producción agropecuaria ... pero no es el único,
- Para distintos agro-ecosistemas, otros indicadores pueden ser de mayor importancia para la sustentabilidad del recurso suelo: propiedades químicas, físicas y biológicas, erosión, ... y por supuesto, la productividad.

Referencias

- Boxler M., F. García, J. Minteguiaga, L., R. Pozzi, G. Deza Marín, N. Reussi Calvo & A. Berardo.** 2010. Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados de la campaña 2009/10: Trigo. Disponible en [http://www.ipni.net/far/farguide.nsf/\\$webindex/article=788685A80325771F0079A87AEBD35528!opendocument](http://www.ipni.net/far/farguide.nsf/$webindex/article=788685A80325771F0079A87AEBD35528!opendocument)
- Bruulsema T., C. Witt, F. Garcia, S. Li, T.N. Rao, F. Chen & S. Ivanova.** 2008. A Global Framework for Fertilizer BMPs. *Better Crops* 92 (2): 13-15. IPNI. Norcross, GA. USA.
- Ciampitti I., G. Rubio, L. Picone & F. Garcia.** 2010. Soil carbon and phosphorus pools in field crops rotations in Pampayan soils of Argentina. Enviado para su publicación a *Soil Sci. Soc. Am. J.*
- Fertilizar Asociación Civil.** <http://www.fertilizar.org.ar/>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.** <http://www.minagri.gob.ar/site/index.php>
- Sainz Rozas H. & H. E. Echeverría.** 2008. Relevamiento de la concentración de fósforo asimilable en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana. *Acatas CD XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* San Luis. AACs. Versión cd-rom. ■

¿NUESTROS ACTUALES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SON AMBIENTALMENTE SUSTENTABLES?

Ing. Agr. Agr. M.Sc. Manuel Ferrari

EEA-INTA Pergamino, Avda. Frondizi, km 4.5, B2700WAA Pergamino, Bs. As., Argentina – UNNOBA
mferrari@pergamino.inta.gov.ar

1. Definiendo la sustentabilidad

Han sido propuestas varias definiciones de sustentabilidad. Probablemente, una de las que mejor sintetiza el concepto es la que establece que la *agricultura sustentable* se basa en sistemas de producción cuya principal característica es la aptitud de mantener su productividad y ser útiles a la sociedad indefinidamente. En consecuencia, los sistemas de producción sustentables deben reunir los siguientes requisitos: 1) conservar los recursos productivos; 2) preservar el medio ambiente; 3) responder a los requerimientos sociales; y 4) ser económicamente competitivos y rentables (Martelotto *et al.*, 2001). La distinta índole de los requisitos mencionados ha dado lugar también a que se identifiquen tres ejes de la sustentabilidad: la viabilidad ecológica, la viabilidad social y la viabilidad económica (Satorre, 2003). Si se circunscribe el análisis sólo a la dimensión ambiental, y específicamente a la conservación del recurso suelo, es posible emplear un concepto más restringido de la sustentabilidad. Así, para los sistemas de producción agrícola continua, como los que predominan en la Pampa Ondulada, un esquema productivo podría ser considerado sustentable solamente considerando si permite mantener los rendimientos de grano a lo largo del tiempo. Para alcanzar dicho objetivo, es necesario que los sistemas estén diseñados sobre la base de tres pilares o columnas: la *siembra directa*, la *fertilización* y la *rotación de cultivos*. La adecuada combinación de estos tres pilares y la eficaz implementación de cada uno de ellos pueden redundar inclusive en un incremento de los niveles de productividad (Figura 1).

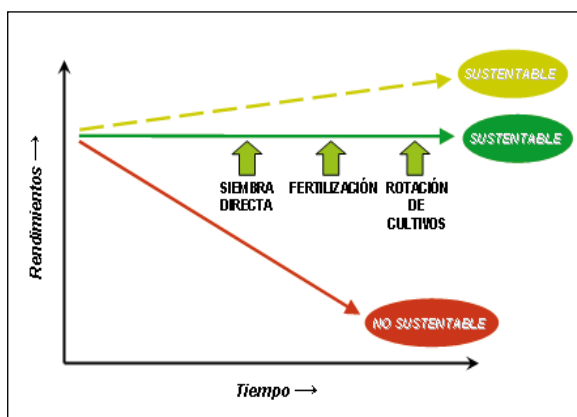


Figura 1. Pilares de los sistemas de producción agrícola sustentables: siembra directa, fertilización y rotación de cultivos.

2. Evolución de los pilares de la sustentabilidad

La siembra directa ha mostrado un crecimiento explosivo e incesante en nuestro país desde principios de la década del '90. Para la campaña 2005/06, se estimaba que el área manejada con este sistema constituía aproximadamente el 70% de la superficie cultivada en Argentina (AAPRESID, 2009). Es probable que esta proporción sea aún mayor en la Pampa Ondulada. La fertilización también ha registrado una adopción marcadamente creciente durante los últimos años. Las estadísticas de consumo de fertilizantes a nivel nacional revelan que se ha pasado de utilizar unas 300.000 toneladas en 1991 a aproximadamente 3.700.000 toneladas en 2007, lo cual implica decir que en un lapso de 16 años se ha aumentado en más de 12 veces el consumo de fertilizantes. No obstante este notable incremento, las relaciones Aplicación/Extracción de los principales nutrientes (N, P, K y S) en los cultivos extensivos indican balances negativos en todos los casos. Si bien estas relaciones han ido mejorando a lo largo del período 1993-2009, en ningún año la reposición de nutrientes superó el 55% del N, el 65% del P, el 45% del S, y el 3% del K extraídos con los granos en las cosechas (García y González Sanjuan, 2010). Estos valores ponen de manifiesto que, a pesar de los esfuerzos, las cantidades de fertilizantes usadas aún no son suficientes para detener la continua pérdida de fertilidad de los suelos. La rotación de cultivos es una práctica que ha estado cada vez más limitada durante los últimos años como resultado de un escenario a nivel nacional caracterizado por el constante incremento de la superficie

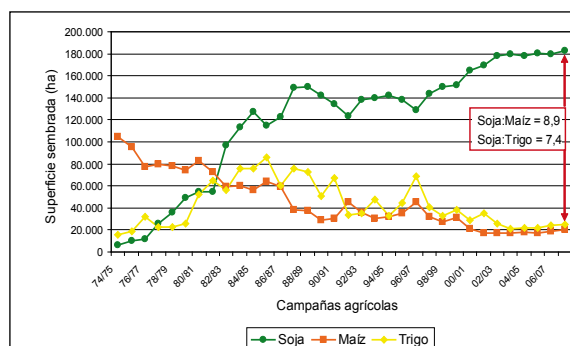


Figura 2. Evolución de la superficie de siembra de los principales cultivos agrícolas en el partido de Pergamino (Buenos Aires) durante el período 1974/75 - 2007/08 (Elaboración propia en base a datos de la SAGPyA).

destinada a soja en detrimento de otros cultivos como el maíz y el trigo. A título ilustrativo, en la Figura 2 se presenta la evolución de la superficie sembrada con los cultivos de soja, maíz y trigo durante el período 1974/75 – 2007/08 en el partido de Pergamino, corazón de la que tradicionalmente fuera denominada “Región Maicera Típica” o “Región Maicera Núcleo”. Para la campaña 2007/08, la superficie destinada a soja fue casi 9 veces mayor que la sembrada con maíz (aunque, como cultivos “de primera”, la relación soja:maíz es de aproximadamente 7,5:1) y más de 7 veces superior a la de trigo. Dichas relaciones se han mantenido bastante estables durante los últimos 6 años de la serie analizada.

En mayor o menor grado, el marcado desbalance entre cultivos descripto para el área de Pergamino es representativo de la situación general que actualmente presenta la Pampa Ondulada, región en la cual se encuentran muchos de los mejores suelos de la República Argentina.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, puede entonces concluirse que, globalmente, nuestros actuales sistemas de producción agrícola no son sustentables. Si bien algunos de los pilares en los cuales deberían basarse, como la siembra directa, muestran tendencias claramente positivas, la insuficiente reposición de nutrientes y la pobre adopción de las rotaciones de cultivos alejan a nuestros esquemas de producción de granos del camino conducente hacia la sustentabilidad ambiental.

Indudablemente, el aspecto en el cual los actuales sistemas de producción agrícola presentan el peor desempeño es el de las rotaciones. El acentuado déficit en el empleo de las mismas implica, a su vez, el no aprovechamiento de una serie de ventajas que producen las secuencias programadas de cultivos.

3. Ventajas de las rotaciones de los cultivos

La implementación sostenida de una adecuada rotación de cultivos ofrece las siguientes ventajas:

- Diversificación de riesgos productivos y económicos
- Control facilitado de malezas, insectos y enfermedades



Cultivo de soja sembrado sobre rastrojo de maíz en la región pampeana central

- Incremento de los rendimientos de grano
- Mejoramiento de las condiciones del suelo (propiedades físicas, químicas y biológicas)

Las dos primeras ventajas escapan al objetivo de este artículo, por lo cual las mismas no serán aquí desarrolladas. A continuación, se presenta información acerca de los efectos positivos de las rotaciones sobre la productividad de los cultivos y sobre algunas propiedades importantes del suelo.

3.1. Incremento de los Rendimientos de Grano

Varias experiencias conducidas en la Pampa Ondulada indican que los rendimientos de soja son mayores cuando este cultivo se realiza después de una gramínea de verano que cuando es implantado sobre otro cultivo de soja. Así, en un ensayo de rotaciones de larga duración iniciado en la EEA-INTA Marcos Juárez en 1975/76, los rendimientos de soja de primera promedio de 5 años (campañas 1999/00-2003/04) en las rotaciones sorgo-soja y maíz-soja fueron superiores a los obtenidos en la situación de monocultivo (soja continua). El incremento de los rendimientos sobre antecesor sorgo osciló entre el 8% y el 18% y sobre antecesor maíz entre el 7% y el 8%, según se tratase de manejos sin fertilización o con fertilización (N, P y S), respectivamente. El mejor comportamiento de la soja de primera en rotación estuvo asociado a la mayor disponibilidad de agua en el suelo a la siembra de la soja que fue medida en los rastrojos de sorgo y maíz (Lattanzi *et al.*, 2005). Los efectos beneficiosos sobre la productividad de la soja, ocasionados por la inclusión de gramíneas en la secuencia pueden exceder el impacto inmediato sobre el cultivo siguiente y extenderse en el tiempo. En una experiencia de 4 años de duración conducida en un suelo degradado de la localidad de San Jerónimo Sud (Santa Fé), fueron comparados 5 tratamientos: T0 (Testigo): Soja de primera continua; T1: Sorgo-Soja-Sorgo-Soja; T2: Maíz-Soja-Maíz-Soja; T3: Sorgo-Soja-Soja-Soja; y T4: Maíz-Soja-Soja-Soja. En promedio, los rendimientos de la soja de primera después de una gramínea como antecesor inmediato (T1 y T2) superaron a los de la soja en monocultivo (T0) en 550 y 200 kg/ha, según el cultivo previo fuera sorgo o maíz, respectivamente. Asimismo, la producción de grano de la soja continuó manifestando el efecto positivo de la incorporación de una gramínea en la secuencia aún en los años sucesivos (T3 y T4). Así, en el tercer año del ensayo, la soja siguió rindiendo 500 kg/ha más sobre el sorgo y 250 kg/ha más sobre el maíz que habían sido implantados 2 años atrás, con respecto al monocultivo de soja. En el cuarto año, los rendimientos de soja aún mostraban incrementos de 300 y 200 kg/ha adicionales sobre sorgo y maíz, respectivamente, con relación al T0 (Felizia *et al.*, 1994).

3.2. Mejoramiento de las Condiciones del Suelo

Los beneficios para el suelo de la inclusión de gramíneas en las rotaciones agrícolas pueden ser sintetizados en los siguientes puntos:

- Aporte de un abundante rastrojo, de alta relación C:N (lo que favorece su perdurabilidad) y, en el caso del trigo u otra gramínea invernal, también uniformemente distribuido
- Mejoramiento del balance de carbono del suelo y de las propiedades químicas (fertilidad), físicas (estructura) y biológicas asociadas a la materia orgánica
- Aumento de la eficiencia de uso del agua del suelo, al favorecer la infiltración del agua de lluvia y disminuir los fenómenos de evaporación y escurrimiento
- Disminución de los procesos de erosión
- Incorporación de una importante cantidad de biomasa de raíces
- Mejoramiento de la estructura del suelo a través del crecimiento de su denso sistema radicular

Como puede deducirse, los efectos positivos mencionados están íntimamente asociados a las características de los rastrojos y de las raíces de los cultivos de gramíneas. Con relación a los rastrojos, merecen ser considerados tres aspectos: la cantidad de materia seca aportada, la calidad de la misma, y la distribución de los residuos sobre la superficie del suelo. El aporte de materia seca de rastrojos que pueden realizar distintos cultivos agrícolas de la región ha sido evaluado en varios estudios (por ejemplo, Cordone *et al.*, 1993; Cordone y Torioni, 1996). En general, el maíz y el trigo (en este último caso, especialmente los cultivares de ciclo largo) son los cultivos que producen las mayores cantidades de residuos de cosecha, frecuentemente alcanzando, y aún superando, las 10 t materia seca/ha. Para girasol, se han determinado aportes de 6-7 t/ha; para soja de primera, 4-6 t/ha; y para soja de segunda, 3-3,5 t/ha.

La calidad de los rastrojos puede ser caracterizada mediante la relación C:N, la cual permite predecir la rapidez con la cual los residuos serán descompuestos en el suelo. Valores de C:N elevados indican una lenta velocidad de descomposición y, por lo tanto, una más extensa perdurabilidad de los rastrojos, mientras que relaciones C:N bajas indican una rápida descomposición y, consecuentemente, también una pronta pérdida de cobertura sobre la superficie del suelo. Las relaciones C:N típicas determinadas en los residuos de cosecha de los cultivos de la región son de 80-122:1 para trigo, 91:1 para maíz, 45:1 para girasol y 43:1 para soja (Cordone *et al.*, 1993). La distribución uniforme de los residuos de cosecha sobre la superficie permite asegurar que gran parte de los beneficios de la inclusión de gramíneas en la rotación pueda ocurrir de manera homogénea en el

suelo. Si bien la uniformidad en la distribución de los rastrojos en parte está determinada por el tipo de cultivo (distancia entre surcos), la misma también puede ser modificada (en forma positiva o negativa) mediante el manejo y regulación de la cosechadora durante la operación de trilla.

Dentro de los cultivos agrícolas, los cereales presentan los sistemas radicales de mayor tamaño. En un trabajo de revisión, Gregory (1988) reportó pesos secos de raíz de hasta 170 g/m² para trigo de invierno, 160 g/m² para maíz, 100 g/m² para sorgo, y tan solo 58 g/m² para soja. Las extensiones máximas registradas siguieron una tendencia similar: 32,0; 15,1; 26,5; y 5,5 km raíz/m² para trigo de invierno, maíz, sorgo y soja, respectivamente.

Otro atributo de las raíces de los cultivos relacionado con la capacidad de generar una mejor estructura del suelo es la densidad de raíces (cm raíz/cm³ suelo). En trigo se han medido valores máximos de 6-7 cm raíz/cm³ suelo (capa 0-10 cm), mientras que en soja las mayores densidades nunca superaron los 0,9 cm raíz/cm³ suelo (0-15 cm) (Gregory, 1988). Para maíz se han informado densidades máximas de 4,0-4,5 cm raíz/cm³ suelo en el espesor 0-15 cm (Mengel y Barber, 1974). Claramente, las raíces de las gramíneas son potencialmente más aptas para mejorar la condición física de los suelos.

4. Problemas asociados a un exceso de soja en la secuencia de cultivos

Haciendo abstracción de otros posibles efectos negativos (por ejemplo, fitosanitarios), desde el punto de vista del suelo una elevada participación de la soja en las secuencias de cultivos puede ocasionar diversos problemas para la conservación del recurso. Debido a su nivel de importancia, merecen destacarse dos de dichos problemas, los cuales se describen a continuación.

4.1. El Balance de Carbono

La materia orgánica, o el carbono orgánico, es una propiedad edáfica clave, dado que su contenido afecta a varias otras propiedades químicas, físicas y biológicas relacionadas al funcionamiento del suelo y al crecimiento y productividad de los cultivos. Una manera de evaluar la dinámica del carbono y de estudiar su evolución bajo distintos manejos es mediante un balance. El mismo será positivo cuando el aporte de C de los rastrojos y su posterior transformación en humus sea mayor a las pérdidas de C del sistema a través de la mineralización, y negativo cuando la tasa de mineralización del C del suelo supere al aporte de C realizado.

Los modelos de simulación del balance de C prestan una valiosa ayuda para describir y predecir la evolución del stock de C del suelo cuando el mismo es

manejado con distintas estrategias de producción. Uno de dichos modelos es el AMG (Andriulo *et al.*, 1999 a y b). Mediante el empleo de este modelo, se realizó una simulación a 10 años para analizar cómo está evolucionando el C del suelo en el partido de Pergamino con el actual sistema de producción agrícola. Para tal fin, se consideraron las superficies promedio destinadas a soja, maíz y trigo durante el quinquenio 2003/04 – 2007/08 (Figura 2), de las cuales surge que la secuencia “representativa” de ese período habría consistido aproximadamente en 8 años de soja de primera, un año de trigo/soja, y un año de maíz. Los aportes de rastrojo fueron estimados a partir de los rendimientos promedio obtenidos en el quinquenio mencionado (soja de primera: 3850 kg/ha; trigo/soja: 3780/2450 kg/ha; y maíz: 8980 kg/ha; SAGPyA) y los índices de cosecha típicos de cada cultivo. Para cada uno de los cultivos integrantes de la secuencia también fueron estimados los aportes de C realizados por las raíces. Se consideró un stock inicial de C de 40,60 t C/ha (0-20 cm), equivalente a un contenido de 2,8% de materia orgánica, y se asumió que toda la secuencia fue manejada bajo un sistema de siembra directa. Los resultados de la simulación indicaron un balance negativo de 2,66 t C/ha en el período de 10 años, lo que implica una pérdida media anual de 266 kg C/ha. Sólo en el año en que la secuencia tuvo maíz se logró un balance positivo de C (+ 731 kg C/ha); los años restantes arrojaron balances negativos. Estos resultados refuerzan el diagnóstico de no sustentabilidad de nuestros sistemas de producción agrícola y vuelven a poner en evidencia la necesidad de incorporar una mayor proporción de gramíneas como el maíz en los esquemas productivos a fines de poder mejorar los balances de carbono negativos que se registran en la actualidad.

4.2. El Balance de Nitrógeno

La soja se encuentra intrínsecamente asociada a un resultado deficitario en el balance de N del suelo. Esto es consecuencia de la incapacidad que presenta el cultivo para fijar biológicamente desde la atmósfera la totalidad del N que exporta con los granos, lo cual lleva a que el resto del nutriente deba ser tomado del suelo. Por otro lado, la falta de respuesta a la fertilización nitrogenada que ha mostrado la soja en la mayor parte de las investigaciones realizadas descartaría, en la práctica, la posibilidad de mejorar el balance de N mediante aportes de fertilizantes al cultivo. Si bien existen estudios en marcha en los que se están evaluando algunas técnicas de manejo para intentar equilibrar el balance de este nutriente en sistemas de soja continua (por ejemplo, mediante cultivos de cobertura de gramíneas invernales fertilizados con N, los cuales atraparían al nutriente en el sistema bajo formas orgánicas que luego serían

liberadas gradualmente al suelo), actualmente este problema aún no tiene una solución concreta, de implementación inmediata y de probada efectividad. Como puede inferirse, el déficit de N así generado cada vez que se realiza un cultivo de soja alcanza cifras importantes cuando los valores son proyectados a nivel regional, dada la elevada proporción de la superficie agrícola que está cubierta por esta oleaginosa (Cordone y Martínez, 2004). Tomando sólo el partido de Pergamino, y considerando un rendimiento de grano de soja de primera de 3850 kg/ha (promedio del período 2003/04 – 2007/08) y un aporte de N por fijación biológica equivalente al 50% del total del nutriente absorbido por el cultivo, el balance es de -59 kg N/ha, valor que multiplicado por las aproximadamente 155.000 ha destinadas a soja como única cosecha en el año arroja una pérdida global de 9.145 t N/año. A un precio de US\$ 1.000/kg N, la valoración económica de este déficit a nivel del Partido asciende a US\$ 9.145.000/año. Este es uno de los costos “ocultos” de nuestros sistemas de producción agrícola.

5. El camino hacia la sustentabilidad ambiental

Aunque tal vez no en su totalidad, podría afirmarse que una buena proporción de los conceptos hasta aquí presentados son conocidos en el sector productivo. La escasa difusión de sistemas de producción de granos más sustentables en la región no parecería tener su principal motivo en la falta de conocimientos sobre las prácticas más apropiadas para conducir planteos agrícolas que a la vez conserven o mejoren los recursos productivos, sino en la existencia de una serie de condicionantes que dificultan una mayor adopción de estos esquemas mejorados. Cuando se toman las decisiones respecto a la estrategia productiva a seguir, y para tal fin se evalúan, por un lado, las ventajas de los sistemas de producción sustentables (incluyendo rotaciones y reposición de nutrientes) y, por el otro, los factores condicionantes para su adopción, en la gran mayoría de los casos estos últimos pesan más y terminan definiendo la elección del modelo a implementar, el que usualmente se caracteriza por una inclinación marcada hacia el cultivo de soja. En la Figura 3 se presenta de manera esquemática el peso relativo que al momento de tomar decisiones se le suele asignar a las ventajas de las rotaciones que incluyen maíz y trigo y a los motivos que pueden condicionar la implementación de dicha práctica.

Sin lugar a dudas, el factor condicionante a la adopción que reviste mayor importancia es la tenencia de la tierra y la duración del alquiler. En este sentido, puede considerarse que actualmente coexisten en la región dos grandes grupos de productores, los que se encuentran en situaciones bastante contrastantes (Figura 4).

Si bien existen algunas variaciones zonales, actualmente se estima que entre el 50% y el 70% de la superficie agrícola de la región es manejada por productores en la Situación "B" (campos "arrendados"). Este proceso de tercerización de la producción agrícola ha seguido una tendencia creciente en las últimas décadas.

El camino hacia una mayor sustentabilidad ambiental requeriría que año a año una proporción de productores que se encuentra en la situación "B" pase a ocupar un lugar en la situación "A". Por supuesto, este es un proceso no exento de dificultades, y que involucra aspectos de distinta y variada naturaleza. Más aún, si bien el problema es en gran medida técnico, muchas de las soluciones posibles podrían trascender el plano estrictamente agronómico y tener también efectos de índole social y económica. No obstante, las evidencias parecen indicar que resulta imperioso pensar en un futuro distinto y mejor para la región y sus habitantes. La búsqueda consensuada de las modificaciones necesarias en el escenario productivo regional para que el alejamiento del camino hacia la sustentabilidad no se siga acrecentando es uno de los desafíos del presente y de los años venideros.

Referencias

AAPRESID, 2009. Evolución de la superficie bajo siembra directa en Argentina (campañas 77/78 – 05/06). Disponible en: <http://www.aapresid.org.ar> (verificado 6 de agosto de 2009).

Andriulo, A.; J. Guérif y B. Mary, 1999a. Evolution of soil carbon with various cropping sequences on the Rolling Pampas. Determination of carbon origin using variations in natural ¹³C abundance. *Agronomie*, 19:349-364.

Andriulo, A.; B. Mary y J. Guérif, 1999b. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences of the Rolling Pampas. *Agronomie*, 19:365-377.

Cordone, G.E.; M.C. Ferrari; J.J. Ostojic y G. Planas, 1993. Caracterización de los residuos de cosecha de los principales cultivos del norte de la Provincia de Buenos Aires. En: XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

– Trabajos y Comunicaciones Resumidos, pp. 191-192. Mendoza, 25 al 29 de octubre de 1993, AACs.

Cordone, G. y F. Martínez, 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 24:1-4.

Cordone, G. y E. Torioni, 1996. Producción de rastrojo de distintos cultivares de trigo en Pergamino según la fecha de siembra y la tecnología utilizada. *Carpeta de Producción Vegetal*, Tomo XIV; Serie Trigo, Información N° 177. EEA-INTA Pergamino, 6 p.

Felizia, J.C.; C.A. Rivas Fanconi; J.A. Pabón y W. Hofer, 1994. Influencia del maíz y sorgo granífero sobre el rendimiento de la soja en suelos degradados del área de influencia de la AER Roldán. En: *Rotaciones para Producir Rastrojos*, pp. 23-25. Proyecto PAC II, Serie Agricultura Sostenible N° 2, INTA.

García, F. y M.F. González Sanjuan, 2010. Balances de nutrientes en Argentina: ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 48:1-5.

Gregory, P.J., 1988. Growth and functioning of plant roots. In: *Russell's Soil Conditions & Plant Growth*, Eleventh Edition (A. Wild, ed.), pp. 113-167. Longman Scientific & Technical, Harlow, England.

Lattanzi, A.; J. Arce; H.J. Marelli; C. Lorenzón y T. Baignorria, 2005. Efecto de largo plazo de la siembra directa y de rotaciones de cultivos sobre los rendimientos, el carbono y nitrógeno orgánico en un suelo Argiudol típico en Marcos Juárez. En: *Seminario Internacional Indicadores de Calidad de Suelo* (H. Marelli, ed.). EEA-INTA Marcos Juárez, 20 al 22 de abril de 2005, 20 p. (CD-Rom).

Martellotto, E.; H. Salas y E. Lovera, 2001. Soja... al monocultivo?. *Revista Fertilizar*, 24:18-22.

Mengel, D.B. y S.A. Barber, 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. *Agronomy Journal*, 66:341-344.

Satorre, E., 2003. Los caminos de la sustentabilidad. *Revista de los CREA*, 273:52-56. ■

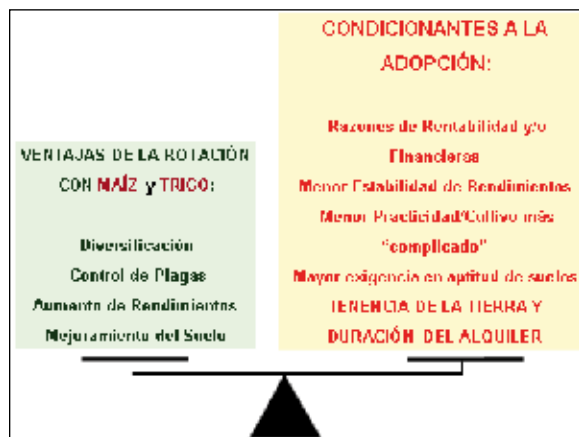


Figura 3. Peso relativo de las ventajas de las rotaciones de cultivos y de los factores que condicionan su adopción.

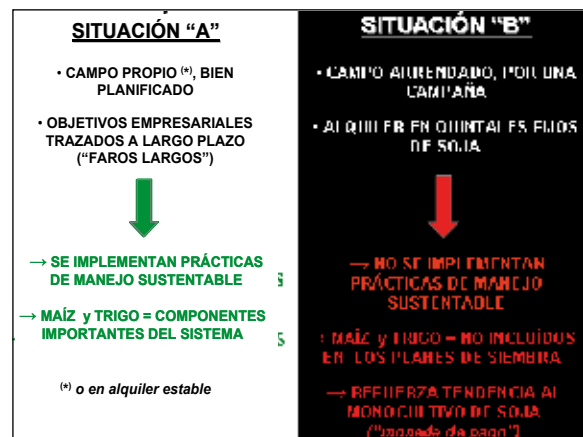


Figura 4. Formas de organización de la producción en la región y sus implicancias para la implementación de prácticas de manejo sustentable.

MODELOS DE REGRESIÓN SENCILLOS PARA ESTIMAR EL CONTENIDO DE AGUA EN TODO EL PERFIL USANDO LA HUMEDAD SUPERFICIAL

Alfredo Bono¹; Roberto Alvarez² y Nicolás Romano¹

EEA INTA Anguil. Ruta Nacional N° 5 - Km. 580 - CC: 11 (6326) Anguil - La Pampa, Argentina
(2) Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires-CONICET. Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina.
e-mail: abono@anguil.inta.gov.ar

Introducción

El contenido de agua en el perfil del suelo es la variable más importante a tener en cuenta en la productividad de los cultivos en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Desde comienzo de los años '70 se han realizado en la región numerosos trabajos sobre la dinámica y el manejo del agua en el suelo que muestran como condiciona la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos (Alvarez *et al.*, 2006; Funaro *et al.*, 2006; Funaro *et al.*, 2008; Bono *et al.*, 2006; Fernández *et al.*, 2006). La estimación de humedad en profundidad tiene fines prácticos, viéndose limitada su ejecución cuando es necesario obtener información de muchos lotes y tomar decisiones en el corto plazo. Esta limitación ha tratado de ser superada generando métodos sencillos de campo de estimación de humedad al tacto (Quiroga *com. pers.*). Poder estimar la humedad del suelo hasta 140 cm de profundidad o más, sobre la base de muestreos superficiales, sería de utilidad para realizar balances hídricos y aplicar modelos explicativos de los rendimientos como los desarrollados para trigo (Bono & Alvarez, 2006; Bono *et al.*, 1997; Bono & Quiroga, 2003), con mayor facilidad que muestreando todo el perfil. En un trabajo previo, Bono & Alvarez (2008) estimaron el contenido de agua almacenada en el suelo hasta 140 cm de profundidad usando la humedad hasta 60 cm y la profundidad del suelo hasta la tosca mediante una red neuronal artificial, pero para hacer las estimaciones es necesario contar con el software usado para generar dicha red. Nuestro objetivo fue generar un modelo de regresión sencillo capaz de estimar los contenidos de agua de suelos de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana, hasta 140 cm de profundidad, disponiendo solamente del nivel de humedad en las capas superficiales del perfil sin necesidad de software específico.

Materiales y Métodos

Entre 2000 y 2006 se realizaron 152 experimentos de fertilización y manejo de cultivos en el este de la Provincia de La Pampa, sur de Córdoba, sur de San Luis, oeste y sudoeste de Buenos Aires, en los que se realizaron 712 muestreos de humedad del suelo

hasta 140 cm de profundidad o hasta la capa de tosca. Las características de los experimentos y la metodología de determinación de densidad aparente del suelo y contenido de humedad han sido descritas en detalle anteriormente (Bono & Alvarez, 2008). Se generó un set de 4443 datos de lámina de agua almacenada en capas de suelo de 20 cm. Las precipitaciones se registraron en todos los sitios calculándose la lámina caída en períodos variables previos a cada muestreo de humedad. Se usaron regresiones lineales para generar modelos estimativos del contenido de agua del suelo hasta 140 cm de profundidad, usando como variables predictivas: i) la humedad de las capas superficiales (0-20, 20-40 y 40-60 cm); ii) la profundidad de la tosca; iii) la textura del suelo; iv) las lluvias acumuladas desde los 90, 75, 60, 45, 30 y 15 días previos al muestreo; v) el nivel de materia orgánica del suelo y; vi) los tipos de manejo como variables categóricas.

En los sitios experimentales no se detectó presencia de napa freática en la profundidad muestreada. El set de datos se particionó en 66% para calibración y 33% para validación. Se empezó probando la capacidad predictiva de las regresiones usando solamente el nivel de humedad del estrato 0-20 cm y luego se fue incorporando en los modelos la humedad de capas más profundas hasta lograr una performance aceptable. Se testearon efectos lineales, cuadráticos e interacciones entre variables. Solo se incluyó en los modelos variables con efectos significativos ($P = 0.05$) y se testeó las ordenadas y pendientes de las rectas de regresión entre datos observados y estimados por el test de t ($P = 0.05$) contra 0 y 1 respectivamente. También se calculó el RMSE de cada modelo. Los R^2 y RMSE de los modelos se testearon usando metodologías descritas anteriormente (Alvarez, 2009).

Resultados y Discusión

Utilizando como variables predictivas la lámina de agua en el estrato 0-20 cm del suelo y la profundidad del suelo hasta la tosca se explicó 68% de la variabilidad de la lámina contenida en el suelo hasta

140 cm. Incorporando contenido de agua en la capa 20-40 cm se pasó a explicar 78% de la variabilidad. El mejor modelo se logró usando la lámina de agua sumada en los estratos 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Este modelo explicó 87% de la variabilidad de la lámina almacenada en el suelo hasta 140 cm de profundidad (Tabla 1, Figura 1). Ninguno de los modelos ajustados presentó variaciones significativas del R^2 entre el set *calibración* y el set *validación*. Las rectas

de regresión entre datos observados y estimados tuvieron ordenadas no diferentes de 0 y pendientes similares a 1 ($P = 0.05$) en todos los casos. El RMSE de los modelos se redujo significativamente ($P = 0.05$) al incrementarse la profundidad en que se determinaba la lámina de agua. La precipitación, la textura, el nivel de materia orgánica, cultivo presente, momento de muestreo y sistema de labranza pueden influir en el contenido de agua del suelo pero sus

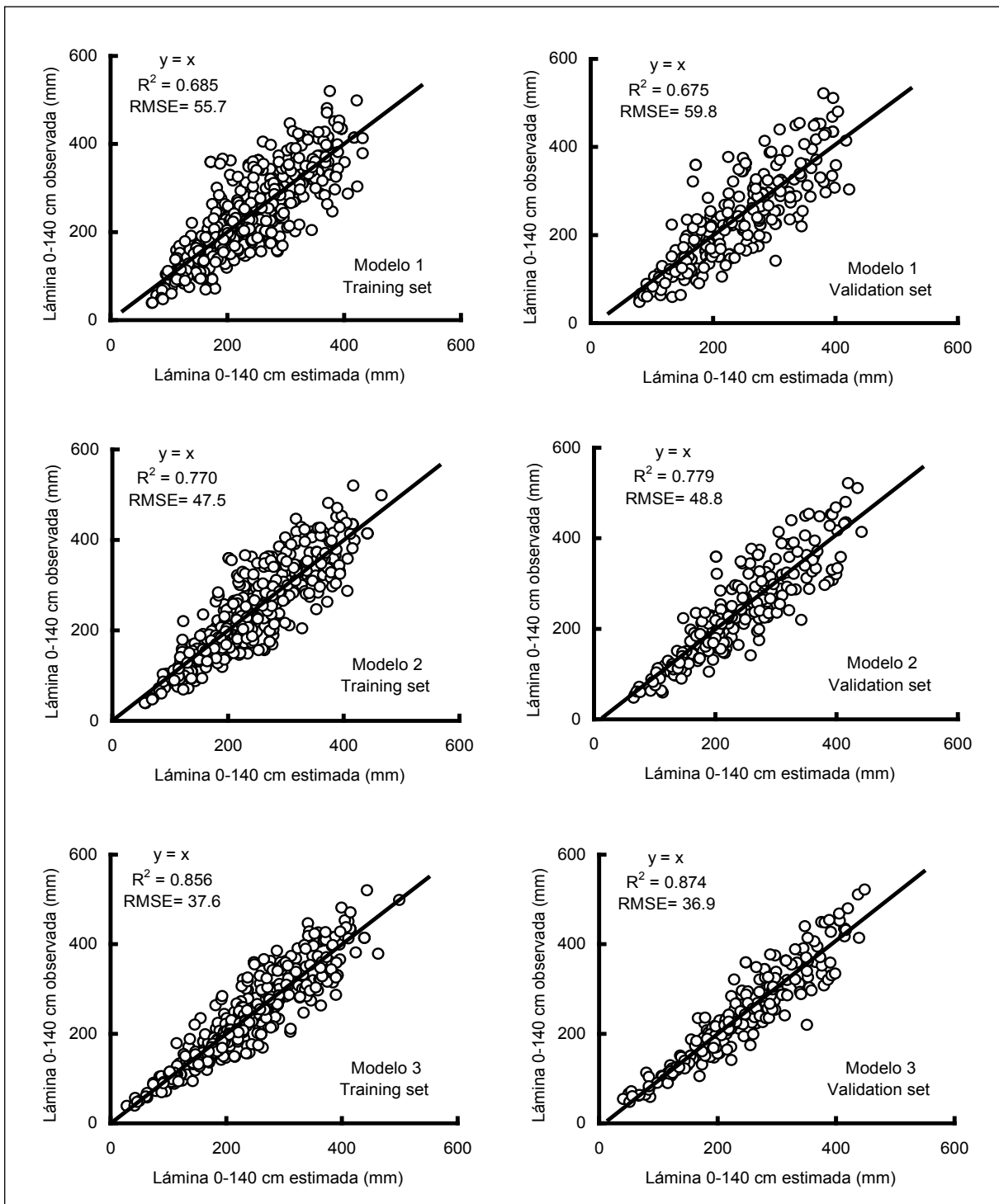


Figura 1. Relación entre el contenido de humedad en el suelo de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana observado y el estimado por modelos de regresión presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Modelos de regresión para estimar el contenido de agua hasta los 140 cm de profundidad en suelos de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. L (0-140): lámina (mm) en el estrato 0-140 cm; L (0-20): lámina (mm) en el estrato 0-20 cm; L (0-40): lámina (mm) en el estrato 0-40 cm; L (0-60): lámina (mm) en el estrato 0-60 cm; P: profundidad del perfil hasta la tosca.

Modelo	Ecuación
1	$L(0-140) = 43,9 - 0,0268 * L(0-20) + 0,0524 * L(0-20) * P$
2	$L(0-140) = 23,6 - 0,0041 * L(0-40) + 0,0258 * L(0-40) * P$
3	$L(0-140) = -10,9 + 0,425 * L(0-60) - 0,00280 * L(0-60)^2 + 0,0170 * L(0-60) * P$

efectos no fueron significativos, siendo éstos aparentemente subrogados por las variables que entraron a los modelos.

Con modelos de regresión simples es posible estimar aceptablemente el contenido de agua almacenada en el suelo hasta 140 cm de profundidad usando la humedad hasta 20 cm, 40 o 60 cm y la profundidad del suelo hasta la tosca. El RMSE del mejor modelo logrado fue equivalente al 16% de la media de la lámina de agua en el suelo hasta 140 cm de profundidad.

Agradecimiento:

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Universidad de Buenos Aires (G004 and G033), CONICET (PIP 02050 y PIP 02608) y FONCYT (PID-BID 37164 - 49).

Bibliografía

- Alvarez R.** 2009. Predicting average yield and regional production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. *Eur. J. Agron.* 30: 70-77 2009.
- Alvarez C., N. Peinemann & A. Quiroga.** 2006. Sistemas de labranza, propiedades edáficas y rendimiento de maíz en Molisoles diferenciados por el régimen hídrico. *Publicación Técnica N° 67.* EEA Anguil INTA. 1-10 pág.
- Bono A. & A. Quiroga.** 2003. Avances en el ajuste de la fertilidad en el cultivo de trigo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. En: *Trigo: Actualización 2003.* Boletín de Divulgación Técnica N° 76. EEA Anguil INTA. Pág.17-32.
- Bono A. & R. Alvarez.** 2006. Rendimiento de trigo y respuesta a la fertilización en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Presentación en CD. 10 pág.
- Bono A & R. Alvarez.** 2008. Aplicación de redes neuronales artificiales para estimar el contenido de agua de los suelos en profundidad usando el nivel de humedad superficial. *Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* CD, comisión 4-14.
- Bono A., J.C. Montoya, P. Lescano & F.J. Babinec.** 1997. Fertilización de trigo con nitrógeno y fósforo en la Región Semiárida Pampera. Campaña 1997. *Publicación Técnica N° 47.* EEA Anguil INTA. 22 pág.
- Bono A., E. Sá Pereira, N. Romano & J.C. Montoya.** 2006. Efecto de la longitud de los barbechos, momentos y formas de aplicación de fósforo en girasol. *Publicación*

Técnica N° 67. EEA Anguil INTA. 35-43 pág.

Fernández R., N. Peinemann, E. Noellermeyer & A. Quiroga. 2006. Efecto de la cobertura sobre la eficiencia del barbecho en la Región Semiárida Pampeana. *Publicación Técnica N° 66.* EEA Anguil INTA. 37-44 pág.

Funaro D., N. Peinemann, E. Noellermeyer, M. Saks & A. Quiroga. 2006. Efecto de la disponibilidad de agua y nitrógeno para girasol en la Región Semiárida Pampeana. *Publicación Técnica N° 67.* EEA Anguil INTA. 26-34 pág.

Funaro D., J. Garay, R. Rivarola & A. Quiroga. 2008. Algunos factores determinantes del rendimiento de girasol en la región semiárida pampeana central. *Publicación Técnica N° 72.* EEA Anguil INTA. 27-32 pág. ■

NUTRICIÓN DE MAÍZ: REQUERIMIENTOS Y ABSORCIÓN DE NUTRIENTES

Ignacio A. Ciampitti¹, Miguel Boxler² y Fernando O. García³

¹ Purdue University, West Lafayette, Indiana, EE.UU. iciampit@purdue.edu; ² Región CREA Sur de Santa Fe, Argentina; mboxler@arnet.com.ar; ³ IPNI Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina, fgarcia@ipni.net

Introducción

Durante las últimas décadas, el cultivo de maíz ha presentado un incremento continuo en productividad, como resultado de un conjunto de prácticas de manejo implementadas, junto con el progreso del mejoramiento genético. Este incremento en productividad trae aparejado un aumento de la materia seca total y, en consecuencia, de la acumulación o absorción de nutrientes (Karlen *et al.*, 1987).

En lo que respecta al diagnóstico de fertilidad, en el caso del N, la dosis a emplear se puede determinar a través de la relación entre el nitrógeno (N) disponible (N-nitratos del suelo a pre-siembra, 0-60 cm, más N fertilizante) y el rendimiento del cultivo. Es bien conocido que pueden obtenerse respuestas variables a la aplicación de N debido a diferencias en las condiciones climáticas (temperatura, precipitación), de suelo (temperatura, materia orgánica, textura), y prácticas de manejo (irrigación, densidad, arreglo espacial, fertilización), como así también por el uso de diferentes genotipos (interacción Genotipo x Ambiente x Manejo). Una parte de esta variabilidad puede ser explicada debido a la diferencias en el potencial del sitio en proveer N (proveniente de la materia orgánica del suelo). Por otro lado, el requerimiento de N de maíz varía con el rendimiento del cultivo y los factores que gobiernan la determinación del mismo (clima, genotipo, prácticas de manejo). Asimismo, como ocurre con el N, para el caso del fósforo (P), la fertilización fosfatada debería relacionarse con la capacidad del suelo para satisfacer la máxima demanda de este nutriente por el cultivo (Ciampitti *et al.*, 2010). Para la situación del azufre (S), la información disponible acerca del manejo de este nutriente y los requerimientos del mismo por el cultivo de maíz es más escasa.

Un programa de fertilización balanceada, que incluya la aplicación de N, P y S, es esencial para optimizar el rendimiento del cultivo, incrementar la rentabilidad y mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes (provenientes del suelo y del fertilizante) por parte del cultivo, minimizando el impacto sobre el ambiente. La adopción de las mejores prácticas de manejo (MPM) para el uso de los fertilizantes es necesaria para incrementar y estabilizar los rendimientos y promover la sustentabilidad de la producción agropecuaria. Teniendo este objetivo como herramienta de trabajo, este escrito discute y re-examina brevemente la acumulación de nutrientes (N, P y S) por el cultivo

de maíz. Los objetivos propuestos son: (i) determinar el efecto de diferentes tratamientos de fertilización NPS sobre la productividad del cultivo (impacto en el rendimiento por unidad de área), (ii) estudiar el efecto de diferentes tratamientos de fertilización NPS sobre los patrones de acumulación de nutrientes en maíz, y (iii) conocer más acerca de la dinámica de absorción de los nutrientes y los requerimientos de los mismos por parte del cultivo de maíz.

Materiales y métodos

Las evaluaciones se realizaron en la campaña 2006/07 en cuatro ensayos de la Red de Nutrición CREA del Sur de Santa Fe (García *et al.*, 2006): San Alfredo y La Marta en rotación maíz-trigo/soja (M-T/S) y La Blanca y La Hansa en rotación maíz-soja-trigo/soja (M-S-T/S) (Tabla 1). Se debe considerar que los tratamientos evaluados, presentan una historia continua de manejo de fertilización (mismo tratamiento de fertilización aplicado durante varias campañas agrícolas, desde el comienzo de la red, año 2000). Por lo tanto, las diferencias entre tratamientos responden al efecto directo de la fertilización del cultivo y al efecto residual de fertilizaciones de años anteriores. Los tratamientos evaluados fueron: i) Testigo, ii) NP, iii) NS, iv) PS, y v) NPS. En todos los sitios, el arreglo experimental fue el de diseño bloques completamente aleatorizados (DBCA) con tres repeticiones. El tamaño de las parcelas fue de 25-30 m de ancho y de 65-70 m de largo. En todos los sitios experimentales evaluados, el híbrido de maíz utilizado en la campaña agrícola 2006/07 fue el Dekalb AW 190 MG. Las prácticas de manejo del cultivo, fecha de siembra, e intervalo siembra-cosecha se indican en la Tabla 1. En todos los sitios, el cultivo antecesor fue trigo/soja de segunda.

Los fertilizantes fueron aplicados a la siembra del cultivo. Las dosis de N se decidieron a través de la relación entre el N disponible ($N-NO_3^-$; 0-60 cm, pre-siembra + N fertilizante) y en base al rendimiento esperado dentro de cada rotación evaluada. Las dosis de P y S fueron obtenidas estimando la extracción del cultivo más un 10%, para construir nivel del nutriente en el suelo (filosofía de reposición y construcción). Para la campaña evaluada, la dosis de N utilizada fue de 175 kg N ha⁻¹, aplicados como urea. En los tratamientos que recibieron P (PS, NP y NPS), la dosis

utilizada fue de 40 kg P ha⁻¹ y la fuente fue el fosfato monoamónico (12% N, 22.5% P). En el caso del S, tratamientos PS, NS y NPS, la fertilización azufrada fue de 24 kg S ha⁻¹ y la fuente utilizada fue el sulfato de amonio peleteado (19% S). En todas las situaciones, los fertilizantes fueron aplicados mediante mezclas físicas antes o al momento de siembra, incorporándolos a una distancia de por lo menos 5 cm de la semilla para evitar posibles efectos fitotóxicos (Ciampitti *et al.*, 2006).

Biomasa y Absorción de Nutrientes

Para el cálculo de la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes del cultivo de maíz, fue necesaria la cosecha de 15 plantas en 5 diferentes estados fenológicos (Ritchie & Hanway, 1984): V3 (tres hojas), V10 (diez hojas), R1 (floración), madurez fisiológica y comercial (MF y MC, respectivamente). Las plantas cosechadas fueron secadas a 70°C hasta peso constante para la determinación de materia seca. Posteriormente, las muestras fueron molidas y pasadas por un tamiz de 0.1 mm. La determinación de N total fue realizada mediante el método de Kjeldahl (Bremner, 1965). Las concentraciones de P y S fueron determinadas mediante digestión ácida con ácido nítrico y perclórico (Johnson & Ulrich, 1959). Las concentraciones de nutrientes en todas las fracciones se encuentran expresadas en base seca (0% humedad). A modo práctico, para observar el efecto de los tratamientos de fertilización sobre la acumulación de nutrientes, se realizó un promedio entre los sitios evaluados y, en forma general, se presenta la acumulación de N, P y S para los diferentes ambientes y estaciones de crecimiento del cultivo analizadas. A madurez comercial, el índice de cosecha de nutrientes para N, P y S (ICN, ICP, ICS) fue calculado de la siguiente forma:

$$\text{Índice de Cosecha de Nutriente (\%)} = \left(\frac{\text{Contenido de Nutriente en Semilla}}{\text{Contenido de Nutriente en el Residuo} + \text{Semilla}} \right) * 100$$

Rendimiento del cultivo de maíz

Los rendimientos de maíz de la campaña 2006/07 fueron muy buenos, debido a un régimen climático propicio para el desarrollo y crecimiento del cultivo. Los rendimientos máximos se registraron en el tratamiento NPS variando entre 11425 kg.ha⁻¹ en La Hansa a 16090 kg.ha⁻¹ en La Blanca (Tabla 2). Los rendimientos del tratamiento Testigo variaron entre 5731 kg.ha⁻¹ en La Hansa a 9720 kg.ha⁻¹ en San Alfredo.

Se observaron respuestas significativas a los tratamientos de fertilización en los cuatro sitios. Las respuestas promedio a N, P, S y a NPS fueron de 3248, 1369, 698 y 5359 kg.ha⁻¹, respectivamente. Evaluando el efecto de cada nutriente en forma individual, la aplicación de N y de P incrementó los rendimientos

del cultivo en todos los sitios ($P < 0.05$). La respuesta a S fue significativa en solo un sitio (San Alfredo).

Absorción, extracción y requerimiento de N, P y S por el cultivo de maíz

La aplicación balanceada de N, P y S produjo un incremento en los rendimientos reflejado directamente en un aumento de la absorción de nutrientes (N, P y S) respecto a los tratamientos con aplicaciones desbalanceadas o sin aplicación de nutrientes (Fig. 1). Sin embargo, el patrón de absorción de nutrientes por el cultivo de maíz no fue afectado por los diferentes tratamientos de fertilización (Fig. 1). Las primeras diferencias en absorción entre tratamientos

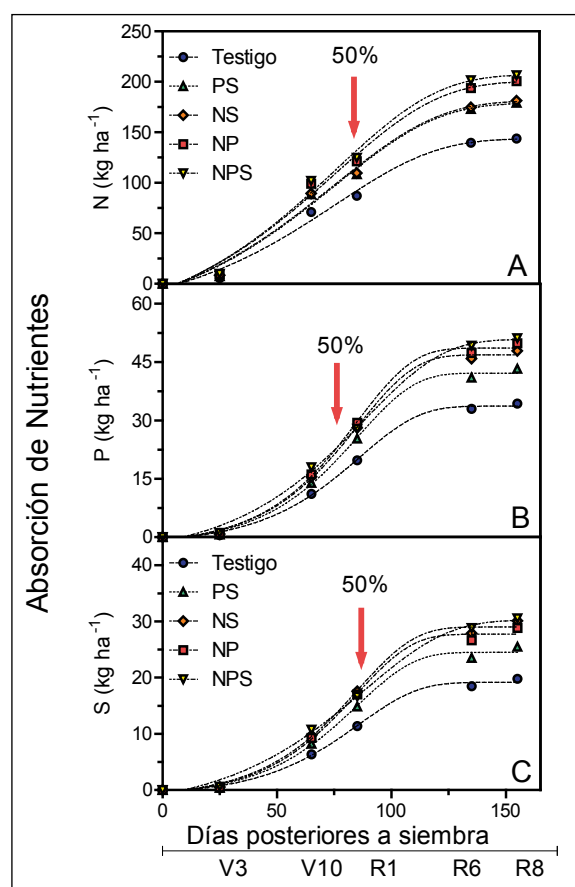


Figura 2. Rendimiento en grano (A), expresado en ton ha⁻¹, y absorción total de N a madurez comercial (B), en kg N ha⁻¹, en función de la absorción de S y P, ambos expresados en kg de nutriente ha⁻¹, total acumulada a madurez comercial (R8). En la parte inferior izquierda, se señala en una caja el tratamiento Testigo (sin aplicación de nutrientes), presentando bajos rendimientos (A) y absorción de N (B); mientras que en la parte superior derecha de las figuras se encuentra el otro extremo, aplicación balanceada de nutrientes, el tratamiento NPS, resultando en una absorción balanceada de P y S, lo que genera mayores rendimientos (A) y por consiguiente, una mayor absorción de N (B).

de fertilización se puede detectar a los 25 días posteriores a la siembra del cultivo (estadio tres hojas; V3). Estas diferencias tienden a ser mayores a favor del tratamiento con aplicación balanceada de N, P y S (NPS) respecto al Testigo absoluto (Fig. 1).

En todos los sitios, la máxima absorción de nutrientes se encuentra directamente relacionada con un mayor rendimiento logrado. A floración, la absorción de N presentó un rango entre 50 y 126 kg N ha⁻¹ (según tratamiento de fertilización), resultando en promedio, un 50% del total de N acumulado a madurez fisiológica (Fig. 1A). En general, la cantidad de N absorbida post-floración se encuentra directamente determinada por la demanda de N del grano. En maíz, las diferencias en el nivel de removilización pre-floración y la tasa de absorción de N, contribuyen a diferentes contenidos de N en grano y rendimientos del cultivo (Muchow, 1988). En el caso del P, al momento de floración, la absorción total del nutriente representó un 57% del total acumulado por el cultivo a madurez (Fig. 1B). Siguiendo un patrón de absorción similar a N, la absorción de S al momento de floración fue de un 47% respecto del total acumulado al momento de cosecha del cultivo, presentando un rango de entre 10 a 18 kg S ha⁻¹ (Fig. 1C).

En relación a la evolución en la absorción de nutrientes, en general podemos destacar dos puntos o estados fenológicos: V3 (tres hojas) y R1 (floración). En el primero se comienzan a observar diferencias entre tratamientos de fertilización y en el segundo, los cambios en absorción de nutrientes son notables (Fig. 1). El patrón de acumulación de N fue muy similar al ritmo de acumulación de materia seca, mientras que la acumulación de P fue más rápida durante las etapas vegetativas (Fig. 1A, B). Más aún, la acumulación del S siguió un ritmo similar al N (Fig. 1A, C). Se debe destacar que los patrones de acumulación de nutrientes pueden ser variables con los diferentes ambientes, condiciones y tipo de suelo, variedad de cultivo y otras prácticas de manejo como irrigación, fertilización, etc. (Hanway, 1962).

La remoción de N en grano, o ICN, representó entre el 69% y 74% del total de N acumulado por el cultivo a madurez comercial (Tabla 3). Para el caso de P, la remoción en el grano (ICP) presentó una variación entre el 75% y 82% del total de P acumulado por la planta (Tabla 3). El ICS varió entre el 54% y 63%. Los valores de ICN e ICP son similares a los registrados en experiencias previas (Ciampitti y García, 2007). Sin embargo, el ICS es superior a ICS promedios del 35% recopilados por los mismos autores.

La removilización de nutrientes por parte del cultivo es un parámetro a tener en cuenta en lo que respecta al uso de los mismos. Convencionalmente, la forma de calcular la translocación de nutrientes es mediante un simple cálculo de la cantidad de acumulada en toda la planta a floración menos la acumulación en las estructuras vegetativas a MF. Para el caso del N, la translocación desde las estructuras vegetativas al

grano varió entre 18 a 60 kg N ha⁻¹, conteniendo los granos un 35-48% del N absorbido a floración proveniente de estructuras vegetativas. La magnitud de P translocado hacia el grano, presentó un rango entre 46% a 59% del P absorbido a floración. Para el S, la absorción post-floración osciló entre 8 a 13 kg ha⁻¹ dependiendo del tratamiento de fertilización evaluado (Fig. 1C) y entre el 41% a 53% del S absorbido a floración fue removilizado hacia los granos. A madurez fisiológica, el ICN es un indicador de la magnitud de N removilizado desde las estructuras vegetativas. En nuestro trabajo, un incremento en el ICN fue observado a medida que el N se convertía en limitante para el crecimiento del cultivo; situación que ocurrió en el tratamiento con aplicación conjunta de P y S (PS), lo que sugiere un aumento en la removilización de N. La removilización de N desencadena un proceso de senescencia anticipada del cultivo debido a que reduce el contenido de N de las hojas, y consecuentemente, su actividad fotosintética (reducción en la acumulación de biomasa) (Ciampitti & Vyn, 2010). En el caso de P, el ICP presentó los mayores valores en los tratamientos Testigo y NPS, sugiriendo que con ausencia de aplicación de nutrientes la capacidad del cultivo en absorber P se ve afectada (menor exploración radicular) y, en consecuencia, la removilización hacia el grano es mayor. Por otro lado, en el tratamiento con aplicación conjunta de N, P y S (NPS), podría ocurrir que el ritmo de acumulación de materia seca es superior a la tasa de absorción de P, lo cual genera una mayor translocación desde las estructuras vegetativas hacia el órgano destino (espiga). Para el S, fue reportada una mayor variabilidad en el ICS, sin presentar una clara tendencia o patrón, respecto a los observados para N y P (Tabla 3).

En este trabajo, el requerimiento de N para producir una tonelada de materia seca varió entre 14 a 18 kg N ton⁻¹. Se debe notar, que este requerimiento presentó una menor variabilidad que el rendimiento en sí mismo, el cual presentó un rango entre 5 y 16 toneladas (Tabla 2). Situación similar ocurrió con los nutrientes P y S, en los cuales el requerimiento varió entre 3 a 5 kg P ton⁻¹ y 2 a 3 kg S ton⁻¹. En comparación con estos resultados, la recopilación de bibliografía nacional e internacional presentada por el IPNI reporta valores de 21 kg N ton⁻¹, 4 kg P ton⁻¹ y 3 kg S ton⁻¹ (Ciampitti y García, 2007).

La complejidad de la interacción entre nutrientes, en este caso entre N, P y S, puede ser observada en la Figura 2. Para la elaboración de esta figura se utilizó la absorción de nutrientes al momento de madurez comercial (absorción total) y el rendimiento del cultivo, para todos los tratamientos de fertilización evaluados. Primero, podemos observar en la Figura 2A, como incrementos en la absorción de P y S (en forma balanceada) se correlacionan con aumentos constantes en el rendimiento del cultivo de maíz. Segundo, cuando analizamos la absorción de N como variable respuesta en

función de la absorción de P y S (Fig. 2B), nuevamente se puede observar la correlación entre el equilibrio en la absorción de P + S, y los aumentos en la absorción de N. En lo que respecta a los tratamientos de fertilización, el tratamiento Testigo se ubica en la parte inferior izquierda de la Figura 2 (baja absorción de P y S), y se correlaciona con menores rendimientos y absorción de N. En el otro extremo se encuentra el tratamiento NPS -parte superior derecha- (alta absorción de P y S), relacionado con mayores rendimientos y alta absorción de N. A partir de nuestra información se puede observar que la forma de respuesta del rendimiento y la absorción de N son diferentes (Fig. 2A, B). El rendimiento del cultivo de maíz responde independientemente a la acumulación de P y S y, por el otro lado, la absorción de N responde más robustamente a mayores niveles de absorción de P y S (relacionado con rendimientos

superiores a 12-13 ton ha⁻¹). Por último, realizando una evaluación de ambas figuras en forma conjunta podemos concluir: (i) la importancia del N en la formación de rendimiento para el cultivo de maíz, y (ii) como ese equilibrio entre P y S se correlaciona con incrementos constantes en la absorción de N, y por consecuente, mayores rendimientos logrados del cultivo de maíz.

Conclusión

Desde el punto de vista de una agricultura sustentable, el manejo de nutrientes en un sistema de producción debería mantener una relación balanceada entre ingresos y egresos de nutrientes en el largo plazo. De tal forma, para conservar los niveles de fertilidad de los suelos, los nutrientes removidos por la cosecha de los cultivos deberían ser reemplazados anualmente

Tabla 1. Sitios experimentales, historia de manejo de lote y características del cultivo.

	Rotación M-S-T/S		Rotación M-S-T/S	
	La Marta	San Alfredo	La Blanca	La Hansa
Fecha de siembra	14/09	9/09	18/10	13/10
Intervalo siembra a cosecha (días)	216	194	167	188
Tipo de suelo	Hapludol éntico	Argiudol típico	Hapludol típico	Argiudol ácuico
Historia agrícola (años)	46	14	12	+26

Tabla 2. Rendimiento en grano para los diferentes tratamientos de fertilización en los cuatro sitios evaluados.

Tratamientos	San Alfredo	La Marta	La Hansa	La Blanca	Promedio
	----- kg.ha ⁻¹ -----				
Testigo	9720 d [#]	7499 d	5731 d	10131 d	8270
PS	11494 c	9449 c	8761 c	11818 c	10381
NS	13305 b	10496 b	11161 a	14078 b	12260
NP	13306 b	12232 b	10093 b	16092 a	12931
NPS	14737 a	12264 a	11425 a	16090 a	13629

Rendimientos seguidos con una misma letra, para cada sitio, no difieren significativamente al nivel de $P < 0.05$.

Tabla 3. Índice de cosecha de nutrientes (N, P y S) para los cuatro sitios experimentales y diferentes tratamientos de fertilización evaluados.

Tratamientos	Índice de Cosecha de N				Índice de Cosecha de P				Índice de Cosecha de S			
	San Alfredo	La Marta	La Hansa	La Blanca	San Alfredo	La Marta	La Hansa	La Blanca	San Alfredo	La Marta	La Hansa	La Blanca
Testigo	0.71	0.71	0.72	0.71	0.81	0.77	0.79	0.78	0.63	0.59	0.61	0.60
PS	0.73	0.74	0.73	0.73	0.76	0.76	0.75	0.77	0.63	0.62	0.60	0.63
NS	0.71	0.71	0.70	0.71	0.79	0.77	0.77	0.79	0.58	0.56	0.54	0.58
NP	0.69	0.69	0.69	0.69	0.79	0.79	0.77	0.79	0.60	0.61	0.57	0.60
NPS	0.71	0.71	0.71	0.71	0.82	0.81	0.81	0.82	0.62	0.62	0.61	0.63

o al menos dentro del ciclo de rotación de cultivos. A través de estudios de absorción y extracción de nutrientes se pueden obtener valores más precisos de requerimientos nutricionales por los cultivos, lo que permite una mejora en la planificación y la programación del manejo de nutrientes en la producción de cultivos. Más aun, debemos seguir investigando en este camino debido a que valores establecidos en el pasado podrían no ser correctos para las tecnologías y prácticas de manejo actuales como híbridos, densidades, rendimiento potencial y condiciones de suelo (interacción Genotipo x Ambiente x Manejo).

Referencias

Bremner J.M. 1965. Organic nitrogen in soils. p. 93-132. In W.V. Bartholomew and F.E. Clark (ed.) Soil nitrogen. Agron. Monogr. 10. ASA, Madison, WI.

Ciampitti I.A., Fontanetto H., Micucci F. y F.O. García. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos Fitotóxicos. Informaciones Agronómicas N° 31, Archivo Agronómico N° 10. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Disponible en <http://www.ipni.net/lasc>

Ciampitti I.A. y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. Informaciones Agronómicas N° 33, Archivo Agronómico N° 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Disponible en <http://www.ipni.net/lasc>

Ciampitti I.A., F.O. García, G. Rubio y L.I. Picone. 2010. Phosphorus: balance and soil extractable dynamics in field crops rotations in Pampean soils. Soil Science Society of America Journal. Doi:10.2136/sssaj2009.0345.

Ciampitti I.A. & T.J. Vyn. 2010. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. Field Crops Research (accepted).

García F., M. Boxler, J. Minteguiga, H. Blanco, R. Houssay, G. Deza Marín 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.

Hanway J.J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility: 1. Growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yield. Agronomy Journal 54: 145-148.

Johnson C.M. & A. Ulrich. 1959. II Analytical Methods. For Use in Plant Analysis. Certified Agriculture Experimental Station Bulletin 766. Pp 26-27.

Karlen D.L., E.J. Sadler & C.R. Camp. 1987. Dry matter, N, P and K accumulation rates by corn on Norfolk loamy sand. Agronomy Journal 79: 649-656.

Muchow R.C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment III. Grain yield and nitrogen accumulation. Field Crops Research 18: 31-43.

Ritchie S.W. & J.J. Hanway. 1984. How a corn plant develops: Special report No. 48, Iowa State University. ■

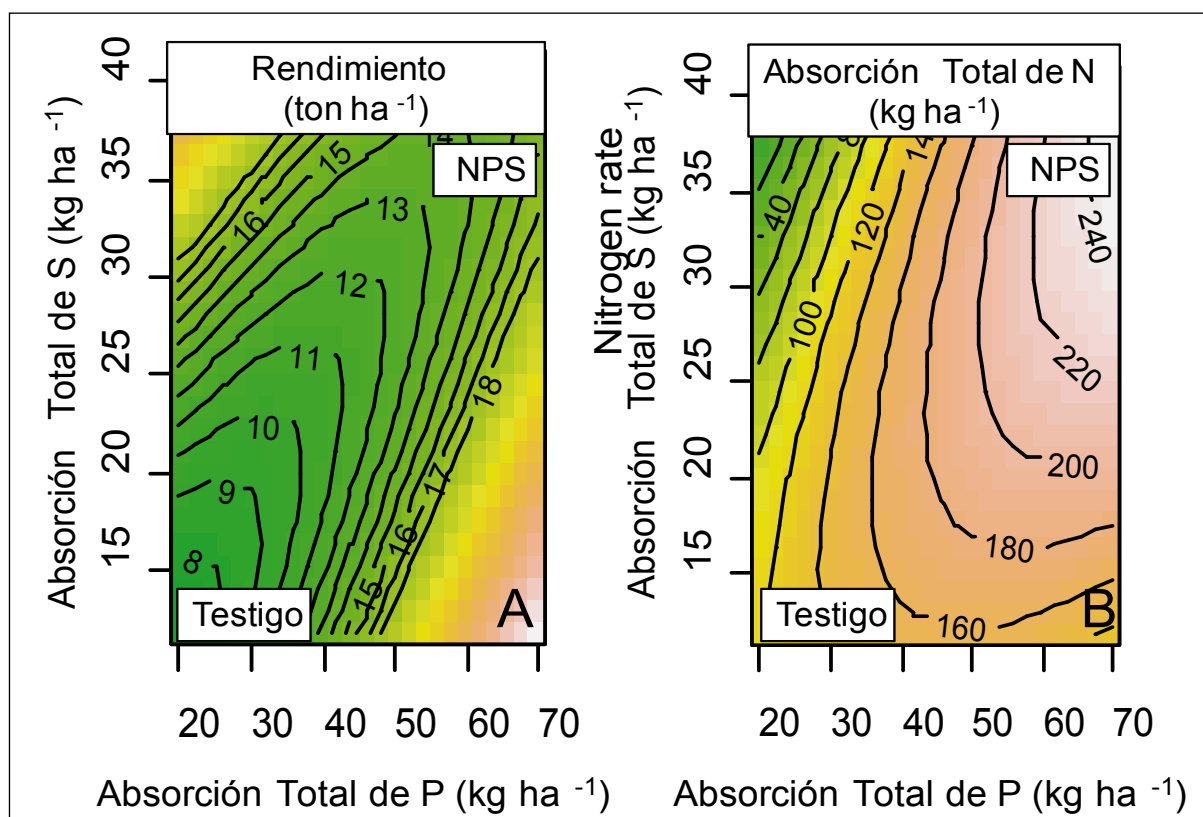


Figura 1. Absorción de nutrientes (N, P y S), expresados en kg nutriente ha⁻¹, durante los estadios vegetativos (V3 y V10) y reproductivos (R1, R6 y R8) del cultivo de maíz para diferentes tratamientos de fertilización, promedio de los cuatro sitios. La flecha de color rojo indica el punto de 50% de acumulación de nutriente respecto del total acumulado a madurez comercial para el cultivo de maíz.

TECNOLOGÍA DE LA FERTILIZACIÓN AZUFRADA EN LA REGIÓN PAMPEANA ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS

Martin Torres Duggan¹, Mónica B. Rodríguez², Raúl S. Lavado³ y Ricardo Melgar⁴

¹Tecnoagro S.R.L y Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Buenos Aires, Argentina. torresduggan@tecnoagro.com.ar; ²

Facultad de Agronomía (UBA), Buenos Aires, Argentina.

mrodrigu@agro.uba.ar; ³INBA-CONICET/UBA y Facultad de Agronomía (UBA), Buenos Aires, Argentina. lavado@agro.uba.ar;

⁴EEA INTA Pergamino, Buenos Aires, Argentina. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar

Artículo adaptado y ampliado de "A review of sulphur fertilizer use and technology management in Pampas Región of Argentina" presentado por los autores en el 19th World Congress of Soil Science (Brisbane, Australia), 1-6 de agosto de 2010.

Principales características agro-ecológicas de la Región Pampeana

Argentina es uno de los productores agrícolas más importantes del Hemisferio Sur, siendo la Región Pampeana la principal zona sembrada con granos. La superficie destinada a producción de cultivos es de alrededor de 34 millones de hectáreas (Figura 1). Esta superficie no incluye la Pampa Deprimida, donde la producción agrícola está limitada por la presencia de suelos halo-hidromórficos. Los suelos predominantes pertenecen al orden de los Molisoles (Soriano *et al.* 1991). El clima es templado, con un rango de temperaturas medias anuales de 14 a 17 ° C, y precipitaciones que varían entre 600 a casi 1000 mm anuales.

La porción húmeda de la Región Pampeana comprende áreas donde las precipitaciones anuales son cercanas a 1000 mm (e.g. norte, sur y sudeste de Buenos Aires). Hacia el oeste de esta región, donde las lluvias alcanzan los 600 mm anuales o menos, existen mayores limitaciones para la producción de cultivos. Las rotaciones típicas de la Región Pampeana son: trigo/soja 2°, soja continua, maíz-trigo/soja 2° y soja-trigo/soja 2°. El 70% del área implantada se realiza en siembra directa.

En los últimos 20 años se han incorporado mejoras tecnológicas de gran impacto productivo en los agroecosistemas pampeanos. Entre ellas se destacan: fertilización balanceada, siembra directa, nuevos genotipos y manejo integrado de plagas. En este contexto, la producción de granos aumentó de 35 millones de toneladas en 1991, a casi 90 millones de toneladas en 2006. En igual sentido, el consumo de fertilizantes se incrementó marcadamente: pasó de 250 mil toneladas en 1990 a 3,65 millones de toneladas en 2007, momento en el cual se registró el máximo consumo histórico de nutrientes.

El rol de la fertilización azufrada en la Región Pampeana

Históricamente, las principales deficiencias de nutrientes en la Región Pampeana correspondieron a

nitrógeno (N) y fósforo (P). A mediados de la década de 1990 comenzaron a aparecer los primeros indicios de respuestas a la fertilización azufrada (Rubio *et al.* 1996). Posteriormente las respuestas se establecieron definitivamente a partir de ensayos de campo conducidos por investigadores del INTA Casilda (Martínez y Cordone, 1998; Cordone y Martínez, 2001). En los últimos años las respuestas al agregado de S en diferentes cultivos de grano y forrajes se han generalizado en amplias zonas de la región. Dichas respuestas se observaron en las siguientes condiciones: suelos con bajo contenido de materia orgánica, suelos degradados, siembra directa, lotes con prolongada historia agrícola, ambientes con altas respuestas a la aplicación de N y P, entre las más destacadas (Gutiérrez Boem *et al.* 2007; Torres Duggan y Rodríguez 2009).

Como consecuencia de la difusión de los casos de respuestas al agregado de azufre (S) y el menor costo relativo de los fertilizantes azufrados en comparación con fuentes nitrogenadas y/o fosfatadas, la fertilización azufrada se convirtió en una práctica habitual dentro de los planteos de producción, aspecto que se evidencia en el incremento de la aplicación de S de los últimos años.

El crecimiento del consumo de fertilizantes azufrados fue creciente y sostenido hasta el año 2007 cuando se alcanzó, a nivel país, un consumo de aproximadamente 100 mil toneladas de S. Asimismo, en la campaña 2007/08, la reposición del S alcanzó el 42% y se estima que el 40-50% del área sembrada de trigo, soja y maíz se fertiliza con S, con dosis promedio de 7 a 10 kg S. ha⁻¹ (García y Salvaggiotti, 2009).

En las dos campañas siguientes (2008 y 2009) se produjo una reducción importante en la utilización de fertilizantes, debido fundamentalmente a la menor área sembrada de trigo y maíz determinada por la fuerte sequía y la incertidumbre de precios del mercado local. Con la normalización del régimen climático observada en la presente campaña 2010 y el interesante contexto actual de precios internacionales de los principales granos y de las relaciones insumo producto, es esperable que el consumo de fertilizantes retorne a valores normales.

Fertilizantes azufrados utilizados en la Región Pampeana

El fertilizante azufrado utilizado tradicionalmente en la Argentina ha sido el sulfato de amonio (SA, 21-0-0 24% de S) (FAO, 2004; Melgar y Torres Duggan, 2005). Con el progresivo desarrollo y madurez del mercado de fertilizantes, comenzó a aplicarse además, el superfosfato simple de calcio (SPS, 0-21-0+12% de S). El SPS era tradicionalmente importado desde distintos orígenes, aunque actualmente también es provisto por dos plantas recientemente instaladas en la Argentina, con gran capacidad de abastecimiento. El destino de este fertilizante es el mercado local y regional (Cono Sur), principalmente el mercado de soja, gran demandante de P y S.

Actualmente, la fuente azufrada sólida de uso más frecuente es el yeso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) obtenido a partir de yacimientos locales (e.g. Cuyo, La Rioja, etc.). Si bien el mineral de yeso puro contiene 18,6 % de S, relevamientos de muestras de yeso agrícola efectuados en la Argentina por Ponce y Torres Duggan (2005), indican gran variabilidad en la pureza y por lo tanto en el contenido de S biodisponible (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química y proporción de azufre de muestras de yeso agrícola ofrecidas en el mercado (Ponce y Torres Duggan, 2005).

Origen (Provincia)	% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	% S
Catamarca	85,3	15,8
Entre Ríos	73,9	13,7
Mendoza	91,3	16,9

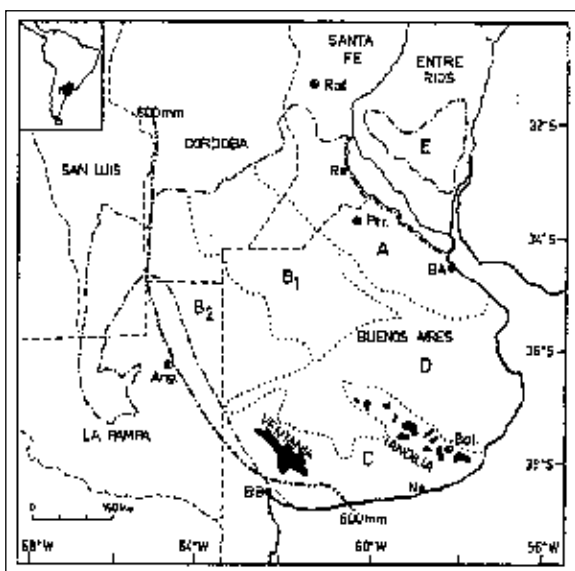


Figura 1. Subdivisiones de la Región Pampeana. A: Pampa Ondulada; B: Pampa Interior (B1: Llanura Pampeana; B2: Región Pampeana Oeste), C: Región Pampeana Sur; D: Pampa Deprimida; E: Pampa Mesopotámica. Adaptado de Soriano et al. (1991).

El consumo de azufre elemental (AE) en Argentina se estima en aumento aunque con niveles bajos por el momento. Las mejoras tecnológicas logradas por la industria de fertilizantes en cuanto al desarrollo de aditivos anti-polvo que reducen el riesgo de manipuleo del producto y fuentes de eficiencia mejorada ("Sulphur Enhanced Fertilizers" o SEF), generan una interesante expectativa en cuanto a la posibilidad de su utilización en fertilización de cultivos. Las principales ventajas del AE son su elevada concentración de S (la mayor de los fertilizantes azufrados) y, en consecuencia, la menor incidencia del costo de manipuleo y transporte. Es interesante mencionar que existe un renovado interés en cuanto al desarrollo y evaluación de SEF en regiones como EE.UU, Europa y Australia. Estos fertilizantes combinan frecuentemente S en diferentes formas químicas (e.g. S-SO_4^{2-} y S^0) y presentan mejoras importantes en cuanto a la disposición del azufre elemental (AE) dentro de la matriz de los gránulos, como así también en la forma y tamaño de las partículas (e.g. micronizado) que optimizan marcadamente la velocidad de oxidación y efectividad (Chien et al., 2009; Prochnow y Blair, 2010). La presentación física de los fertilizantes azufrados sólidos es, en general, granulada (2-4 o 1-5 mm). Sin embargo, algunas empresas proveen fuentes de S "pelleteado". En la literatura especializada en fertilizantes, el proceso de pelleteado también se lo denomina granulación. La granulación o pelleteado es el proceso de conversión de los fertilizantes en polvo a gránulos, que van de 1 a 5 mm de tamaño de partícula (Gowariker et al., 2009). Este proceso puede mejorar la reactividad de minerales insolubles o prácticamente insolubles en agua como es el caso del carbonato de calcio (calcita) o la dolomita (carbonato doble de calcio y magnesio). Sin embargo, en minerales solubles en agua como el yeso agrícola, el pelleteado no modifica su efectividad agronómica en términos de respuesta en rendimiento diferencial respecto al yeso no pelleteado. Esto fue observado cuando se compararon, en el cultivo de trigo, las respuestas al agregado de S con diferentes formas físicas de yeso (pelleteado y "sólido-granulado") con sulfato de amonio y SPS, con dos dosis de S (15 y 30 kg ha^{-1} de S) en experimentos de campo realizados en Rafaela, Santa Fe (Torres Duggan et al. 2006). Los fertilizantes líquidos por su parte, han mostrado un crecimiento muy considerable en consumo en los últimos años, debido fundamentalmente a ventajas agronómicas, logísticas y de aplicación (Uranga, 2007; Tamini, 2008). Los principales fertilizantes líquidos utilizados en la Argentina son soluciones nitro-azufradas formuladas en base a UAN (30-32% de N) y tiosulfato de amonio (TSA, 12% de N y 26% de S), que se mezclan en diferentes proporciones para formar distintos grados equivalentes. El TSA presenta la mayor concentración de S en solución dentro de los fertilizantes azufrados líquidos y tiene la

particularidad de actuar como inhibidor de la ureasa, mejorando la eficiencia de uso del N aplicado (Goos & Fairlie, 1998).

Tendencias en la utilización de fertilizantes

En los últimos años se observan las siguientes tendencias en la utilización de fertilizantes en general y de fertilizantes azufrados en particular (FAO, 2004; Melgar, 2005; Tamini 2008, García y Salvagiotti, 2009):

- Continua adopción de mezclas físicas y del granel como forma de despacho.
- Crecimiento de la utilización de fertilizantes azufrados.
- Evidencias de respuesta a micronutrientes en algunos cultivos (e.g. Cl, Zn, B, etc.).
- Crecimiento de la utilización de fertilizantes líquidos.
- Mejoras en los balances de nutrientes, principalmente de P y S.
- Importante difusión de los temas de fertilidad de suelos y fertilización de cultivos por parte de organizaciones gubernamentales y privadas.
- Mayor oferta de fertilizantes complejos "NPS", biofertilizantes y fertilizantes foliares.

En las últimas décadas se avanzó notablemente en el conocimiento agronómico del manejo de nutrientes y la disponibilidad de fuentes y tecnologías para su manejo. Sin embargo, se pueden mencionar algunas necesidades y desafíos para el futuro:

- Disponer de estadísticas de consumo de fertilizantes a nivel de localidad, por cultivo, etc.
- Profundizar la experimentación en química y dinámica del S en el sistema suelo-cultivo.

- Avanzar en la elaboración de modelos de diagnóstico de fertilidad azufrada, especialmente estudios de correlación y calibración.
- Estudiar los efectos directos y residuales de fuentes azufradas a campo y en condiciones controladas.
- Avanzar en el desarrollo de recomendaciones de fertilización a nivel regional o distrito.
- Integrar los sectores público y privado en proyectos de investigación.

Evaluación agronómica de fertilizantes azufrados

La mayor parte de la información experimental reciente sobre fertilización azufrada en la Argentina se concentra en general en la evaluación de una o más fuentes azufradas sulfatadas (i.e. de inmediata disponibilidad de S), existiendo escasa información sobre la performance del AE, tanto individualmente como en términos relativos a fuentes sulfatadas (i.e. efectividad agronómica relativa). En la Tabla 2 se citan algunos trabajos experimentales recientes publicados en la Argentina.

Como se observa en la Tabla 2, la información experimental reciente indica que, en términos generales, la respuesta a la fertilización azufrada de las fuentes sulfatadas son similares (i.e. similar efectividad agronómica). Estos resultados coinciden con la literatura internacional (Tisdale *et al.* 1993; Til, 2010).

En relación a las dosis de S, los niveles de máxima respuesta varían usualmente entre 10 a 20 kg S ha⁻¹. Es posible que en cultivos con alto requerimiento de S (e.g. colza) sea necesario aplicar dosis mayores en determinadas circunstancias. Además, en este cultivo resulta importante conocer la disponibilidad edáfica del N y S, como así también la relación entre los

Tabla 2. Revisión de experimentos recientes en los cuales se realizó la evaluación de fuentes azufradas en la Región Pampeana de Argentina.

Cultivo	Fuente de S	Dosis kg .ha ⁻¹ S	Respuesta en grano kg.ha ⁻¹	Efecto dosis	Efecto fuente	Referencia
Doble cultivo Trigo/soja 2º	Yeso	20 en secuencia o en cada cultivo (1).	Soja=217-620 Trigo=130 (E)	No evaluado	No evaluado	Salvagiotti <i>et al.</i> (2004)
Trigo	Yeso	15	625	No evaluado	No evaluado	Reussi Calvo <i>et al.</i> (2006)
Soja	SA y Yeso	15	160-500	No evaluado	ns	Gutierrez Boem <i>et al.</i> (2007)
Trigo	SA, Yeso y SPS	15 y 30	495	ns	ns	Torres Duggan <i>et al.</i> (2006)
Trigo	AE micronizado	24 y 40	208-465	ns en 4 de 5 sitios	ns	Tysko y Rodriguez (2006)
Trigo	SA y AE micronizado	10 y 30 (año 1) 15 y 30 (año 2)	600-1400 (año 1 y 2)	ns.	ns(2)	Torres Duggan <i>et al.</i> (2010)
Maíz	Yeso	8-20 según experimento	492-598-755 (3)	(4)	No evaluado	Pagani <i>et al.</i> (2009)

Notas: s: diferencias significativas ($p < 0.05$), ns: diferencias no significativas ($p > 0.05$), (E) cultivo con problemas de enfermedades, (1) 8 kg ha⁻¹ en trigo y 12 kg ha⁻¹ en soja 2º (2) para la mayoría de los sitios-año. (3) respuestas medias de distintas dosis evaluadas en diferentes experimentos. (4) variable según experimento.

nutrientes (Burzaco *et al.* 2009).

La experiencia internacional muestra resultados variables de respuesta a la fertilización con AE y también de la performance de este fertilizante comparado con fuentes solubles sulfatadas. Dentro de los factores que pueden incidir en la performance del AE podemos mencionar: tipo de cultivos, condiciones ambientales, momento y forma de aplicación, características físico-químicas del AE (Lefroy *et al.* 1994; Girma *et al.* 2005; Horowitz & Meurer 2007). En la Figura 2 se presentan los factores que influyen en la oxidación del AE y por lo tanto en la capacidad para proveer SO_4^{2-} a los cultivos.

De los factores presentados en la Figura 2, la granulometría del AE, la humedad y la temperatura edáfica, son los factores de mayor incidencia en la efectividad agronómica del AE. Si bien no es posible establecer un tamaño de partícula óptimo "universal" del AE utilizado en fertilización de cultivos, la evidencia experimental indica que una granulometría inferior a $200 \mu\text{m}$ determina una mayor velocidad de oxidación en el suelo (i.e. mayor reactividad del fertilizante). Tamaños de partículas más grandes limitan el acceso microbiano y el ritmo de oxidación, sobre todo cuando se presentan condiciones ambientales poco favorables como bajas temperaturas y/o escasa disponibilidad hídrica. En relación a esta temática, Boswell y Friesen (1993) realizaron una extensa caracterización y revisión de la aptitud de diferentes fuentes de AE para distintas regiones agro-ecológicas de Nueva Zelanda. Los autores concluyeron que el factor fundamental que regula el proceso de oxidación es el tamaño de las partículas del AE aplicado, recomendando la aplicación de fuentes de AE con granulometrías menores a 150 y $250 \mu\text{m}$, para condiciones climáticas frías y templadas, respectivamente,

y pluviometrías similares o mayores a las habituales en la Región Pampeana.

Por tratarse de procesos microbiológicos, la temperatura y humedad regulan directamente el proceso de oxidación del AE. Así, con temperaturas entre $10-40^\circ\text{C}$ la oxidación se incrementa en forma lineal mientras que a temperaturas menores a 4°C se torna muy lenta (Blair *et al.* 1993). La temperatura óptima para la oxidación varía según el tipo de microorganismo. Sin embargo, el rango de 25 a 40°C resulta adecuado para la mayoría de ellos. Suelos muy secos o excesivamente húmedos limitan la oxidación del AE, mientras que el óptimo de oxidación se obtiene con contenidos hídricos cercanos a capacidad de campo (Tisdale *et al.* 1993).

Existe escasa información experimental en la Región Pampeana sobre fertilización con AE en cultivos de grano, especialmente sobre la efectividad agronómica relativa de esta fuente comparada con fertilizantes azufrados sulfatados. Sin embargo, algunos experimentos recientes que evaluaron fuentes reactivas de AE, mostraron resultados promisorios. En este sentido, Tysko y Rodríguez (2006), detectaron respuestas significativas a la aplicación de una fuente de AE reactiva ("pre-tratado") en tres de cinco sitios experimentales de la Región Pampeana. El rango de respuestas fue de $400-550 \text{ kg ha}^{-1}$ con dosis de 24 y 40 kg ha^{-1} de S. Por otro lado, Torres Duggan *et al.* (2010) evaluaron la efectividad agronómica de una fuente de AE micronizada ($200 \mu\text{m}$) comparada con el sulfato de amonio en el cultivo de trigo en la Pampa Ondulada y Plana. Los autores observaron similar respuesta a la fertilización azufrada entre las fuentes, para la mayoría de los sitios-años. Asimismo, los autores reportaron similar eficiencia agronómica del S aplicado (incremento de rendimiento kg de S

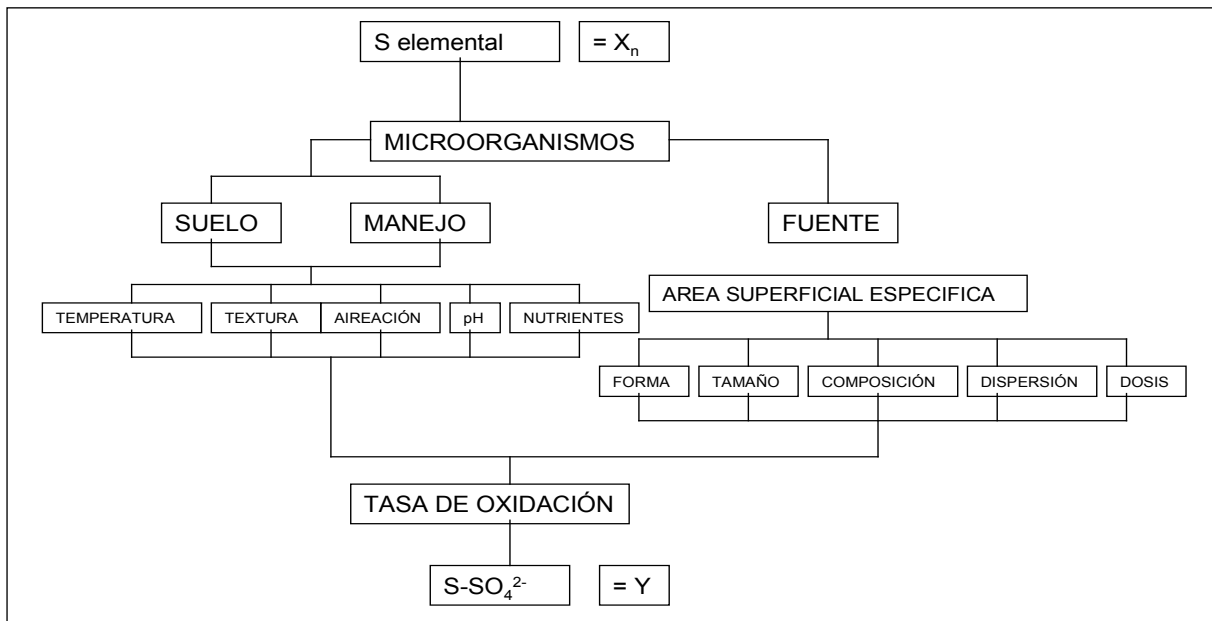


Figura 2. Diagrama de relaciones entre las variables independientes (X_n) y dependientes (Y) que inciden en la oxidación del azufre elemental a sulfato (Horowitz *et al.*, 2005).

aplicado⁻¹) entre las fuentes cuando analizaron el conjunto de experimentos (Figura 3).

Los resultados mencionados previamente de respuestas a la fertilización con AE en trigo en la Región Pampeana, indican, indirectamente, que existirían condiciones agro-ecológicas adecuadas para la oxidación del AE en el cultivo de trigo, por lo menos en el área de estudio donde se realizaron los ensayos. Estos resultados deben considerarse como preliminares y es necesario profundizar en la generación de información agronómica en estos temas. Sin embargo, estos resultados coinciden con investigaciones internacionales como las efectuadas por Friesen (1991), quienes observaron similar efectividad entre el AE (e.g. polvo y granulado) y fuentes sulfatadas como yeso y SPS en experimentos conducidos en climas semiáridos y subhúmedos de África.

En un sentido opuesto al mencionado previamente, Franzen y Grant (2008), reportaron que, para las condiciones de los "Great Plains" de EE.UU, los resultados de la fertilización azufrada son generalmente maximizados cuando se aplican fuentes sulfatadas solubles (sulfato de amonio, tiosulfato de amonio o yeso) en relación al AE, sin hacer referencias a la granulometría del mismo.

En países como Nueva Zelanda se dispone de recomendaciones de diferentes tipos de AE para distintas regiones agro-climáticas, basadas en un profundo conocimiento de los factores locales que regulan la oxidación del AE en diferentes tipos de suelo y clima.

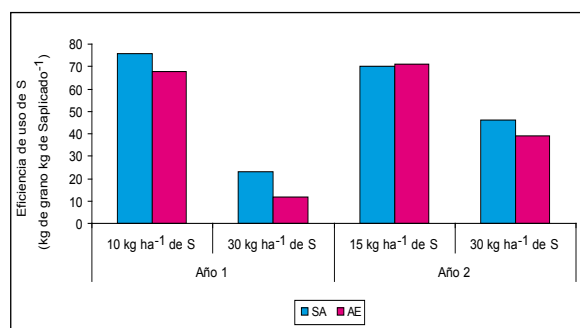


Figura 3. Eficiencia agronómica de uso de S (kg de grano kg de S aplicado⁻¹) para las fuentes evaluadas (SA: sulfato de amonio, AE: azufre elemental micronizado), para cada año y dosis de S aplicada. Las diferencias en eficiencias entre fuentes, dentro de cada dosis y año, no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Torres Duggan *et al.* (2010)

Estos estudios, integran mediciones de variables físicas, químicas y biológicas (Boswell & Friesen, 1993). Este es un enfoque interesante para incorporar en proyectos de investigación en la Argentina.

Formas y momentos de aplicación de azufre en la rotación

Si bien el presente trabajo se refiere específicamente al manejo tecnológico del S en rotaciones de cultivos de la Región Pampeana, cabe destacar que este nutriente se debe aplicar en conjunto con los demás nutrientes limitantes del rendimiento, para optimizar el manejo nutricional de los cultivos. Existe evidencia experimental reciente en la Argentina sobre los beneficios de la fertilización balanceada bajo esquemas de Mejores Prácticas de Manejo de Nutrientes (MPMN) tanto en la productividad de los cultivos como en la fertilidad del suelo (García *et al.* 2006; García y Salvaggiotti, 2009).

A diferencia de lo que ocurre con N, existe escasa información experimental sobre evaluación de formas y momentos de aplicación de S en la Región Pampeana. Sin embargo, por tratarse de un nutriente móvil en el suelo y sumado a la evidencia de escasa capacidad de adsorción de SO_4^{2-} de los suelos de la región, se suele establecer una amplia gama de posibilidades de formas y momentos de aplicación del S dentro de los programas de fertilización. En la Tabla 3, se presentan las alternativas habituales de formas y momentos de aplicación de S en los planteos de producción.

Es importante recordar que, como para cualquier fertilizante, cuando el mismo se aplica al suelo, ya sea en cobertura total (e.g. voleo) o en bandas (e.g. "chorreado" con fertilizantes líquidos), es necesaria una lluvia y/o riego para que el fertilizante se incorpore en el suelo. Este aspecto puede resultar más crítico en aplicaciones en post-emergencia al macollaje de cereales de invierno, ya que en gran parte de la Región Pampeana (e.g. norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe), las precipitaciones son escasas comparado con la primavera o verano.

En el caso de que se fertilice junto con la semilla, es necesario considerar los posibles efectos fitotóxicos (Ciampitti *et al.* 2006). Experimentos realizados por Fontanetto *et al.* (2009). indican que el sulfato de amonio es la fuente azufrada más fitotóxica, seguida por la kieserita ($\text{SO}_4\text{Mg H}_2\text{O}$). Por el contrario, el

Tabla 3. Formas y momentos de aplicación de nutrientes más frecuentes en los agro-ecosistemas de Región Pampeana.

Momento de aplicación	Formas de aplicación	Nutrientes aplicados/tipo de fuentes
Antes de la siembra	Voleo, "chorreado" (fertilizantes líquidos), etc.	N o S (fertilizantes simples, complejos y/o mezclas físicas)
Siembra	Junto a la semilla, bandas superficiales o sub-superficiales (según sembradora).	N, P y S (fertilizantes simples, complejos y/o mezclas físicas)
Luego de la siembra	Voleo (fertilizantes sólidos), "chorreado" (fertilizantes líquidos), etc.	N y S (fertilizantes simples, complejos, mezclas y líquidos)

yeso no generó efectos fitotóxicos en dosis de uso frecuente en fertilización de cultivos (e.g. 100-130 kg ha⁻¹). Este fertilizante se caracteriza por presentar reacción neutra en el suelo.

La elección del momento de fertilización es la alternativa de manejo de mayor importancia para disminuir las vías de pérdida del sistema suelo-cultivo en los nutrientes móviles (Zubillaga, 2007). La estrategia de fertilización deberá sincronizar la oferta de nutrientes (e.g. suelo y fertilización) con la demanda del cultivo. El principal mecanismo de pérdida de S fuera del sistema suelo-cultivo, además de la remoción del S en los granos cosechados, es la lixiviación de SO₄²⁻, proceso sobre el cual se dispone de escasa información local. Sin embargo, haciendo una analogía con el N, este proceso podría darse en determinadas condiciones predisponentes: suelos con texturas gruesas, precipitaciones intensas, balance hídrico positivo, baja cobertura de rastrojos, etc. A diferencia de N, no se prevén riesgos ambientales por contaminación de aguas subterráneas con S.

El enfoque conceptual de las "4C" (en inglés las "4R") dentro del marco de las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) de nutrientes y fertilizantes resulta una herramienta muy útil para definir el manejo sustentable de fertilizantes dentro de los agro-ecosistemas (Roberts, 2010). Los componentes de las "4C" (dosis, fuente, momento y formas correctas) están interconectados, son interactivos y se deben basar en principios científicos provenientes de la investigación local. El marco de las MPM y de las "4C" implica que el productor puede definir distintas combinaciones de dosis, fertilizantes, formas y momentos de aplicación para maximizar su rendimiento y minimizar el impacto ambiental de la fertilización. Estas combinaciones posibles variarán de acuerdo con diferencias en las características edáficas, clima, rotaciones, sistemas de labranza, etc.

La evidencia de residualidad de la fertilización observada en los agro-ecosistemas pampeanos tanto para P como S, permite definir el manejo de los nutrientes a nivel de rotaciones o secuencias de cultivos. Así, investigaciones recientes realizadas en el doble cultivo trigo/soja 2° indicaron similares respuestas y eficiencias de uso de P y S cuando se aplicó una dosis equivalente al requerimiento total de estos nutrientes en el cultivo de trigo o en cada uno de los cultivos por separado (Salvagiotti *et al.* 2004). Estos resultados tienen importantes implicancias agronómicas y logísticas. Pudiendo aplicar la dosis completa de S de la secuencia trigo/soja 2° en el trigo se logran beneficios operativos en la siembra de soja de 2°. Esto se debe a que una siembra temprana de soja resulta imprescindible para no afectar negativamente el rendimiento potencial del cultivo. Sin embargo, estos resultados no deberían extrapolarse a suelos con características pedogenéticas, texturales y mineralógicas muy diferentes a las dominantes en la Región Pampeana como Vertisoles de E. Ríos y/o Uruguay donde la capacidad de adsorción de SO₄²⁻ podría ser mayor.

Consideraciones finales

En síntesis, los aspectos relevantes de la tecnología de la fertilización azufrada en la Región Pampeana pueden resumirse en los siguientes conceptos:

- La fertilización azufrada se convirtió en una práctica frecuente en los últimos años en la mayoría de los cultivos de la Región Pampeana.
- La información experimental reciente indica que los fertilizantes azufrados sulfatados, presentan similar respuesta en los cultivos.
- Se observan resultados promisorios de respuesta a la fertilización con fuentes de azufre elemental reactivo (e.g. micronizado, "pre-tratado", etc.) en trigo, indicando de un modo indirecto la existencia de condiciones favorables para la oxidación de esta fuente en las condiciones agro-ecológicas del norte de la Región Pampeana.
- La evidencia de residualidad de la fertilización con P y S en dobles cultivos como trigo/soja 2°, sumado a que se hayan observado similares respuestas entre aplicar la dosis total de estos nutrientes en el trigo o en cada cultivo, permite optimizar el manejo logístico en la soja de 2°, punto clave para maximizar el rendimiento potencial del cultivo.
- Algunas tendencias actuales en la utilización de fertilizantes son la continua adopción de mezclas físicas, fuentes azufradas, fertilizantes líquidos, entre otras.
- Existe una clara necesidad de incrementar la información disponible tanto en estadísticas de consumo de fertilizantes (a nivel de localidades y cultivos) como en información agronómica en manejo del S (e.g. química y dinámica del S en el sistema suelo-cultivo, efectividad agronómica del azufre elemental, formas y métodos de aplicación de fertilizantes sólidos y líquidos, etc.).

Bibliografía

- Boswell C.C. & D.K. Friesen.** 1993. Elemental sulfur fertilizers and their use on crops and pastures. *Fertilizer Research*. 35:127-149.
- Blair G.J., R.D.B. Lefroy, M. Dana & G.C. Anderson.** 1993. Modelling of sulphur oxidation from elemental sulfur. *Plant and Soil*. 155/156: 379-382.
- Burzaco J.O., I.A. Ciampitti y F.O. García.** 2009. Mejores Prácticas de Manejo para la Nutrición del Cultivo de Colza-Canola: una revisión. *Archivo Agronómico* #13. En: *Revista Informaciones Agronómicas* N°42. IPNI Cono Sur. Junio 28 p.
- Chien S.H., L.I. Prochnow & H. Cantarella.** 2009. Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts. Chapter 8 (268-322 p). *Advances in Agronomy*, Vol 2, 102. Elsevier INC. ISSN 0065-2113.
- Ciampitti I.A., H. Fontanetto, F.G. Micucci y F.O. García.** 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto con la semilla: efectos fitotóxicos. IPNI Cono Sur N°31. *Archivo Agronómico* N°10. www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf
- FAO,** 2004. Fertilizer use by crop in Argentina. Land and Plant Nutrition Management Service-Land and Water Development Division. Rome. 45 p

- Cordone G. y F. Martinez.** 2001. Efecto de la aplicación de distintas dosis de nitrógeno y azufre sobre el rendimiento de del doble cultivo trigo-soja. Para mejorar la producción 18-SOJA-EEA Oliveros, INTA.
- Fontanetto H., O. Keller, J. Albrecht, D. Gailevra, C. Negro y L. Belotti.** 2009. Manejo de la fertilización de la soja en la región pampeana norte y en el NOA argentino. En: Simposio Fertilidad 2009. Mejores Prácticas de Manejo para una Mayor Eficiencia en la Nutrición de los Cultivos. García, F. y Ciampitti, I (editores). ISBN 978-987-24977-1-2. 302 p.
- Franzen D. & C.A. Grant.** 2008. Sulfur response based on crop, source, and landscape position. Chapter 7. En: Sulfur: A missing link between Soils, Crops, and Nutrition. Joseph Jez (Editor). Agronomy Monograph N°50. ASA, CSSA, SSSA. 313 p.
- Friesen D.K.** 1991. Fate and efficiency of sulfur fertilizer applied to food crops in West Africa. *Fertilizer Research*. 29: 35-44.
- García F.O., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, G. Deza Marín 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. Primera edición. ISBN 987-22576-7-1 32 p.
- García F.O. y F. Salvagioti.** 2009. Eficiencia de uso de nutrientes en Sistemas agrícolas del Cono Sur de Latinoamérica. En: Actas del XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 16 al 20 de noviembre de 2009. Simposio "Eficiencia de la Utilización de Nutrientes en Sistemas Agrícolas". 18p.
- Girma K., J. Mosali, K.W. Freeman & W.R. Raun.** 2005. Forage and Grain Yield Response to Applied Sulfur in Winter Wheat as Influenced by Source and Rate. *Journal of Plant Nutrition*. 28:1541-1553.
- Goos R.J., T.E. Fairlie.** 1998. Effect of ammonium thio-sulfate and liquid fertilizer droplet size on urea hydrolysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 522-524.
- Gowariker V., V.N. Krishnamurthy, S. Gowariker, M. Dhanorkkar & K. Paranjape.** 2009. The Fertilizer Encyclopedia. A John Wiley & Sons, INC. 861 pp
- Gutiérrez Boem F.H., P. Prystupa & G. Ferraris.** 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. *Journal of Plant Nutrition*, 30: 93-104.
- Horowitz N., E.J. Meurer & Enofre.** 2005. Uso de enxofre elemental como fertilizante. En : *Informaciones Agronómicas*. N°12. Dezembro. POTAFOS. 26. p.
- Horowitz N. & E.J. Meurer.** 2007. Relationship between soil attributes and elemental sulfur oxidation in 42 soil samples from Brazil. *R.Bras.Ci.Solo*, 31: 455-463.
- Lefroy R.D.B., M. Dana & G. Blair.** 1994. A glasshouse evaluation of sulfur fertilizer sources for crops and pastures. III: Soluble and non-soluble sulfur and phosphorus sources for pastures. *Aust. J. Agric. Res.*, 45: 1525-37.
- Martinez, F., Cordone, G.** 1998. Resultados de ensayos de fertilización azufrada en soja. Para mejorar la Producción 8:53-57.
- Melgar R.** 2005. El mercado de fertilizantes en la Argentina y su relación con el sector agropecuario. Capítulo 25. En: *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. H. Echeverría y F. García (Editores). 525 p. .
- Melgar R.J y M. Torres Duggan.** 2005. Comercio y abastecimiento moderno de fertilizantes. Editorial Hemisferio Sur-INTA. 196 p.
- Ponce B. y M. Torres Duggan.** 2005. Yeso. En: *Minerales para la agricultura en Latinoamérica*. Hugo Nelson y Roberto Sarudianski (Eds.). CyTED.UNSAM-OLAMI. 574 p.
- Pagani A., H.E. Echeverría y H. Sainz Rozas, H.** 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo*. 27: 21-31
- Prochnow L. & G. Blair.** 2010. Sulphur status of soils of the Cerrado region of Brazil and the ability of important agricultural soils of Brazil to oxidize elemental S. 19th World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia. 2010. Actas en DVD.
- Reussi Calvo N.I., H.E. Echeverría y H. Sainz Rozas.** 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 24: 77-87.
- Roberts T. L.** 2010. Nutrient best management practices: Western perspectives on global nutrient stewardship. 19th World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia. 2010. Actas en DVD.
- Rubio G., R.S. Lavado, M.A. Taboada, J.D. Scheiner, M.M. Zubillaga y G. Vrdoljak.** 1996. Ventajas de la fertilización combinada en colza-canola. *Oleaginosos*. 14: 16-19.
- Salvagioti F., G. Gerster, S. Bacigalupo, J. Castellarín, C. Galarza, N. González, V. Gudelj, O. Novello, H. Pedrol. y P. Vallone.** 2004. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Ciencia del Suelo*. 22: 92-101
- Soriano A, León R.J.C, O.E. Sala, R.S. Lavado, V.A. Deregibus, M.A. Cauhépe, O.A. Scaglia, C.A. Velázquez & J.H. Lemcoff.** 1991. Rio de la Plata grasslands. In: Coupland RT (Ed) *Temperate Subhumid Grasslands Ecosystems of the World*. Elsevier Scientific Publishing Co, Amsterdam. pp: 367-406.
- Tamini J.** 2008. Tendência da Adubação Flúida na América Do Sul. En: *Informações Agronômicas* N°123. Setembro. IPNI Brazil. 32 p
- Til A.R.** 2010. Sulphur sources. Chapter 10. In: *Sulphur and Sustainable Agriculture*. First edition. IFA, Paris, France. 70 pp.
- Tisdale S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton & J.L. Havlin.** 1993. Soil and fertilizer sulfur, calcium and magnesium. In: *Soil Fertility and Fertilizers*. Fifth edition. Macmillan Publishing Company. 634 p.
- Torres Duggan M, S. Gambaudo y O. Quaino.** 2006. Evaluación de fuentes azufradas en un Argiudol típico de la provincia de Santa Fe Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22 de Septiembre de 2006. Salta-Jujuy. Actas en CD.
- Torres Duggan M. y M.B. Rodríguez.** 2009. Buenas prácticas de manejo de Fertilizantes azufrados: propiedades de las fuentes azufradas y su efectividad agronómica. En: Simposio de Fertilidad 2009. IPNI Cono Sur. García F.O. e I.A. Ciampitti (eds). 224-233 p.
- Torres Duggan M., M.B. Rodríguez, R.S. Lavado y R. Melgar.** 2010. Eficiencia agronómica del azufre elemental relativa a una fuente azufrada soluble en trigo en la Región Pampeana. *Ciencia del Suelo*. 28: 67-77.
- Tysko M. B. y M.B. Rodríguez.** 2006. Respuesta del doble cultivo trigo/soja a la fertilización azufrada. *Revista Ciencia del Suelo (Argentina)* 24: 139-146
- Uranga M.** 2007. Avances tecnológicos en fertilizantes líquidos. 13 pp. En: Simposio de Tecnología de la Fertilización. Rodríguez, M., Torres Duggan, M., Gambaudo, S. Editores. CD. ISBN 978-987-21419-8-1. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS).
- Zubillaga M.** 2007. Pautas para la elección del momento de fertilización de cultivos extensivos. En: *Tecnología de la fertilización de cultivos extensivos de la Región Pampeana*. P. Prystupa (Ed). Editorial Facultad de Agronomía (UBA). Cap. 5. 101-119 p. ■

CONGRESOS, CURSOS Y SIMPOSIOS

Esta sección presenta eventos futuros en el ámbito regional e internacional que pueden ser de interés de los lectores

1

IX Congreso Internacional de Pastizales - IRC2011

Lugar y fecha: Rosario, Argentina. 2-8 Abril 2011.
Información: www.irc2011.com.ar

5° Congreso de la Soja del Mercosur – Mercosur 2011

Lugar y fecha: Rosario, Argentina. 14-16 Septiembre 2011.
Información: www.acsoja.org.ar / mercosoja2011@acsoja.org.ar

Fertilidad 2011 – 10° Simposio de Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos

Lugar y fecha: Rosario, Santa Fe, Argentina. 18-19 Mayo 2011
Información: www.ipni.net/lasc – www.fertilizar.org.ar

XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Lugar y fecha: Mar del Plata, Argentina. Abril 2012.
Información: www.suelos.org.ar - <http://www.slcs.org.mx/>

Manual del Cultivo de Soja

- Como crece y se desarrolla el cultivo
- Manejo del cultivo
- La Nutrición del cultivo
- Identificación y manejo de las malezas
- Identificación y manejo de las enfermedades
- Reconocimiento y manejo práctico de plagas

Costo de la publicación: \$60 (sesenta pesos)

Costo de envío: \$30 (treinta pesos)

Para mayor información, comuníquese al 011-4798-9939/9988
o visite nuestra pagina de internet:

www.ipni.net/lasc



¡NUEVO! LA RED DE NUTRICIÓN DE LA REGIÓN CREA SUR DE SANTA FE: RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LOS PRIMEROS DIEZ AÑOS 2000-2009

La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009



Autores:

F. García; M. Boxler; J. Minteguiaga; R. Pozzi; L. Firpo; I. Ciampitti; A. Correndo; F. Bauschen; A. Berardo y N. Reussi Calvo



La Región Sur de Santa Fe del movimiento CREA, con la colaboración de IPNI Cono Sur y el auspicio de Agroservicios Pampeanos (ASP) implantó en la campaña 2000/01 una red de ensayos a largo plazo con un protocolo común. Los objetivos generales de la Red son:

1. Determinar respuestas (directas y residuales) de los cultivos dentro de la rotación (maíz, trigo, soja de primera y soja de segunda) a la aplicación de N, P y S en diferentes ambientes de la región
2. Evaluar metodologías de diagnóstico de la fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada
3. Evaluar deficiencias y respuestas potenciales a otros nutrientes: potasio (K), magnesio (Mg), boro (B), cobre (Cu) y zinc (Zn)
4. Conocer la evolución de los suelos bajo distintos esquemas de fertilización determinando parámetros relacionados con su calidad y productividad

Este informe presenta una síntesis y breve discusión de los principales resultados obtenidos en los primeros diez años de la Red de Nutrición (2000-09).

Autores: F. García; M. Boxler; J. Minteguiaga; R. Pozzi; L. Firpo; I. Ciampitti; A. Correndo; F. Bauschen; A. Berardo y N. Reussi Calvo

Para adquirirlo, por favor contacte a IPNI Cono Sur al Tel/Fax 011-47989939, o a Lpisauri@ipni.net

Precio del ejemplar: \$30 (treinta pesos)

Gastos de envío: \$ 6 (seis pesos)

Total a enviar: \$ 36

PUBLICACIONES DE IPNI

Las siguientes publicaciones se encuentran disponibles con un costo nominal



Título de la Publicación (Vea el catalogo completo de publicaciones de IPNI en www.ipni.net/lasc)	Costo US\$	Costo \$ arg.
NUEVO La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009. Resumen y discusión de los principales resultados obtenidos en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (Argentina).	8	30
Manual de manejo del cultivo de soja. Aborda temáticas de fenología, manejo, nutrición y fertilidad, malezas, enfermedades y plagas del cultivo.	16	60
Simposio Fertilidad 2009. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2009.	16	60
Simposio Fertilidad 2007. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2007.	8	30
Cómo se desarrolla una planta de soja. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	4	15
Cómo se desarrolla una planta de maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	4	15
Síntomas de deficiencias nutricionales de trigo, maíz y soja. Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	4	15
Simposio Fertilidad 2005. Nutrición, Producción y Ambiente. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Abril de 2005.	4	15
Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Abril de 2004.	4	15
Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina. Actas del Simposio efectuado en Rosario en Mayo de 2003 (98 pág.)	4	15
Fertilidad 2002. Trabajos presentados en la Cuarta Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Rosario (Argentina) en Mayo de 2002.	2	7.5
Fertilidad 2001. Trabajos presentados en la Tercera Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Julio de 2001.	2	7.5
Fertilidad 2000. Trabajos presentados en la Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Abril de 2000.	2	7.5
Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos. Cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo.	5	18
Balance para el éxito. Trifolios con información de manejo nutricional de cultivos. Disponibles: Alfalfa, Trigo, Maíz, Soja, Sorgo granifero, Algodón.	0.50 c/u	2 c/u

Vea el catálogo completo de publicaciones de IPNI en www.ipni.net/lasc

Formas de pago de publicaciones

Argentina

- Giro Postal o Telegráfico, a través de Correo Argentino o Envío de dinero a través de Western Union.

Los datos para realizar su envío son los siguientes:

DESTINATARIO: Sra. Laura Nélica Pisauri - DNI: 17.278.707

DIRECCION: Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acaassuso – Buenos Aires – Argentina

AGENCIA DE CORREOS DE DESTINO: Sucursal Acaassuso, Buenos Aires, Argentina.

- Depósito Bancario en Banco Galicia, Cta.Cte. Nº 3856/4 053/5 Sucursal Olivos a nombre de INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE.
 - Transferencia Bancaria a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Suc. Olivos, Cta.Cte. Nº 3856/4 053/5, CBU 007005352000003856451 CUIT 30-70175611-4.
- Solicitamos nos haga saber por teléfono, fax o e-mail, la opción elegida y nos envíe los datos para acreditar su pago (No.de giro y fecha, o datos de depósito o transferencia bancaria).

Otros Países

Envío de dinero a través de Western Union, según instrucciones para el envío indicadas más arriba.

Para adquirir las publicaciones de IPNI Cono Sur:

- Además del costo de la/s publicaciones, deberá tener en cuenta los gastos de envío, que son variables de acuerdo al peso en gramos (g): hasta 100 g (equivale a 1 publicación) \$ 10-; entre 100 - 500 g (equivalen a 3/5 publicaciones) \$ 35.00; entre 500 - 1000 g \$ 50 y de 1000-2000 g \$ 60.00.
- Deberá enviarnos el comprobante de pago a nuestra oficina de IPNI Cono Sur por Fax: 011-4798-9939 o por mail a Lpisauri@ipni.net
- Indicar si solicita Factura A ó B, a nombre de quien extenderla, dirección completa y CUIT.

Ante cualquier consulta enviar mail a: Lpisauri@ipni.net o llamar al (54 - 011) 4798 9939/9988

Lanzamiento de Informaciones Agronómicas de Latinoamérica



Estimados Amigos de Informaciones Agronómicas:

Informaciones Agronómicas del Cono Sur llega en esta edición a su número 48, luego de 12 años de continua aparición trimestral. A partir de la próxima publicación, en Marzo 2011, nuestra revista se unirá con la edición colega de Informaciones Agronómicas para el Norte de Latinoamérica editada por el programa IPNI de dicha región, dando inicio a la edición conjunta de Informaciones Agronómicas de Latinoamérica. Entendemos que esta publicación conjunta proveerá a los lectores con material más amplio y diverso acerca de la actualidad y avances científicos y técnicos en las áreas de fertilidad de suelos, nutrición de cultivos y manejo sustentable de los sistemas de producción de toda la región.

Asimismo, la edición de Informaciones Agronómicas de Latinoamérica se realizará en formato electrónico. La amplia difusión de la conectividad electrónica en la región nos permite llegar a un mayor número de lectores (productores, profesionales, estudiantes y público en general) y con un mayor número de artículos de interés. Para ello, necesitamos que nos informen de sus correos electrónicos y de cualquier cambio en los mismos.

Esperamos que estos cambios sean positivos en nuestra comunicación con todos Uds., con la permanente y renovada misión de contribuir al desarrollo de una agricultura sustentable para nuestro continente en los aspectos sociales, económicos y ambientales, a partir del manejo responsable y eficiente de los nutrientes en los sistemas de producción.

Dr. Fernando O. García
Director Regional
IPNI – Programa Cono Sur de Latinoamérica
fgarcia@ipni.net

Para confirmar o renovar su suscripción electrónica de Informaciones Agronómicas de Latinoamérica, por favor envíe su correo electrónico e información personal a Lpisauri@ipni.net

XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo



**“Latinoamérica unida
protegiendo sus suelos”**



AACS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina
16 al 20 de abril del 2012

Contacto:
<http://www.suelos2012.com.ar/>
clacs2012@congresodesuelos.org.ar

SIMPOSIO FERTILIDAD 2011

La Nutrición de Cultivos integrada al Sistema de Producción

Centro de Convenciones Metropolitano - Rosario, Santa Fe, Argentina
18 y 19 Mayo de 2011

Inscripción y programa disponible en www.ipni.net/lasc – www.fertilizar.org.ar