

# Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica

**IAH 7 - Septiembre 2012**

**Versión Cono Sur**

Costo oculto privado y social del sistema productivo. La degradación del suelo pampeano .....	2
Productividad y eficiencia en el uso de agua y nitrógeno en sistemas intensificados .....	6
Alternativas de fertilización del doble cultivo trigo/soja. Efectos sobre la productividad y algunas propiedades del suelo .....	11
Los más recientes micronutrientes vegetales .....	16
Cursos y Simposios .....	26
Publicaciones Disponibles .....	27



**Director: Dr. Fernando O. García**  
International Plant Nutrition Institute  
Programa Cono Sur de Latinoamérica  
Correo electrónico: fgarcia@ipni.net

**Propietario: International Plant Nutrition Institute (IPNI)**

**CUIT: 30-70175611-4**

**ISSN 2222-0178**

**No. de Registro de Propiedad Intelectual: 5040774**

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

<http://www.ipni.net>

Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso • Buenos Aires - Argentina  
Telf/Fax.: 54 11 4798 9939 • Correo electrónico: Lpisauri@ipni.net • <http://lacs.ipni.net>

Oficina para el Norte de Latinoamérica • Casilla Postal 17 17 980 • Quito - Ecuador  
Telf.: 593 2 2463 175 • Fax: 593 2 2464 104 • Correo electrónico: aormaza@ipni.net • <http://nla.ipni.net>

Oficina para México y Centroamérica • 3500 Parkway Lane, Suite 550 • Norcross, GA 30092 - EE.UU  
Telf.: 1 770 825 8079 • Fax: 1 770 448 0439 • Correo electrónico: atastro@ipni.net • <http://mca.ipni.net>

## En este número

- Costo oculto privado y social del sistema productivo
- Productividad y eficiencia en sistemas intensificados
- Alternativas de fertilización del doble cultivo trigo/soja
- Recientes micronutrientes vegetales



# Costo oculto privado y social del sistema productivo. La degradación del suelo pampeano\*

Graciela Cordone<sup>1</sup> y Matías Trossero<sup>2</sup>

Actualmente las actividades productivas giran alrededor de la economía y sus ramas del conocimiento. Una de las críticas más acuciantes al sistema actual de cuentas nacionales deriva de que estas últimas definen la actividad productiva sin considerar los efectos indirectos de dicha producción. Deberían registrarse la disminución de las reservas y el costo ambiental de la contaminación, que tarde o temprano deberá remediarse. Así se acumula una suerte de “deuda ambiental oculta”, que se suma a la deuda inter-generacional a largo plazo condicionada por el envejecimiento (Deaglio, 2004).

Esto plantea la necesidad de valorar económicamente la calidad ambiental dentro del modelo económico preponderante. Hay que generar conciencia y para ello se necesita, además de los estudios clásicos, cuantificar el valor económico del recurso natural como instrumento para la toma de decisiones (Garizábal Carmona, 2004). Una aproximación a dicho valor es un primer paso, aunque no sea la única respuesta a los procesos de degradación y sobreexplotación de los recursos (Azqueta Oyarzun, 1994). Las decisiones políticas deberían tender al manejo sustentable de los recursos naturales, representando éstos ganancias económicas potenciales, que de ser mal manejadas se extinguirían con rapidez.

Para lograr la integración de los recursos naturales a las cuentas nacionales, primero habría que incluirlos dentro de las cuentas empresariales, de manera tal que las materias primas del medio natural no tenidas en cuenta, se internalizarán en sus sistemas de gestión económica. De este modo, el usuario de los recursos naturales tenderá a no tratarlos como un bien gratuito, su objetivo será el mantenimiento del flujo de beneficios provenientes de los bienes y servicios provistos por ellos. Este enfoque trae aparejados cambios en la evaluación de la eficiencia económica y social, y propone un análisis distinto de la rentabilidad, en el cual el recurso natural es considerado un activo económico y social (Garizábal Carmona, 2004).

Como se menciona en un documento de INTA (2003), “la asignación más eficiente de recursos, desde el punto de vista del productor individual, es aquella en la que se maximizan beneficios, considerando exclusivamente los costos privados. Este enfoque está estrechamente asociado con niveles superiores de producción. Dado que no hay señales de mercado asociadas con las dimensiones social y medioambiental, éstas son

generalmente ignoradas en el proceso decisorio, generándose distintos desequilibrios. El restablecimiento de los mismos requiere la incorporación de estos costos adicionales, de manera de garantizar la sustentabilidad, tanto de la base de recursos naturales, como la del tejido social que integra los sistemas de producción”.

Sin pretender abordar por ahora la dimensión social en forma global, si solo se enfoca el cambio de flujo del stock natural, surge entonces preguntarse: ¿la rentabilidad de los actuales sistemas de producción está correctamente calculada?, ¿el resultado económico-financiero del monocultivo de soja que se realiza en el 70% de la región pampeana argentina tiene verdaderamente saldo favorable?, y si lo fuera ¿cuál es su magnitud real?, ¿existen los datos necesarios para evaluar ese resultado con una metodología que incluya, por lo menos, el servicio del recurso natural suelo? (Cordone et al., 2006).

El suelo constituye el recurso económico escaso esencial de los sistemas productivos extensivos. La materia orgánica (MO) del suelo es un indicador de su calidad. La pérdida de MO en la región pampeana no es percibida como un hecho preocupante por el productor dado que la soja, principal cultivo, anualmente registra incrementos en el rendimiento. Tampoco constituye un parámetro que determine el valor comercial ni el de arrendamiento de un predio. Sin embargo, los investigadores presentan resultados de trabajos en los que se evidencia que la disminución de MO bajo el actual sistema productivo tiene magnitud significativa. Esta falta de comunicación entre investigadores y usuarios es una restricción para implementar alternativas de manejo conservacionista.

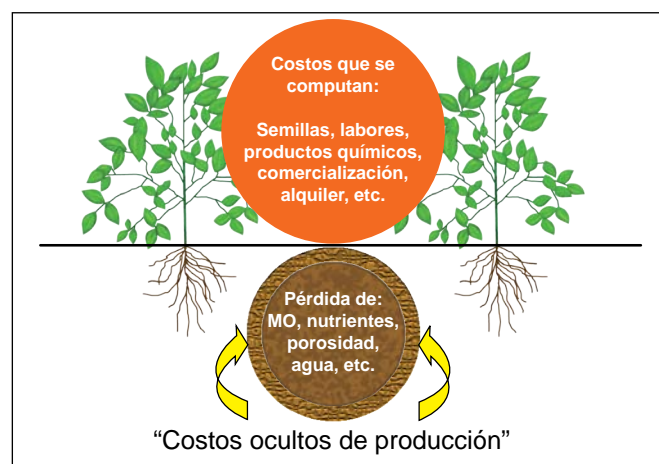


Figura 1. Costos que se computan y costos “ocultos” del sistema de producción pampeano argentino.

<sup>1</sup> INTA Casilda - Casilda, Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: cordone@correo.inta.gov.ar

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad Austral - Rosario, Santa Fe, Argentina

\* Presentado en la Jornada Mundo Soja Maíz 2012, organizada por SEMA. Buenos Aires, 3-4 de Julio de 2012.

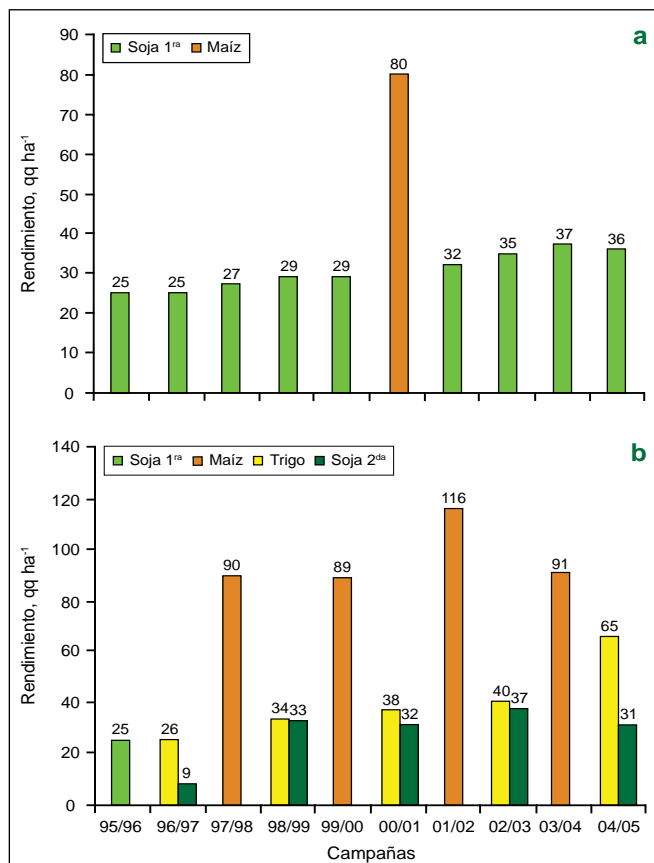
En este trabajo discutiremos sobre los “costos ocultos” del sistema productivo actual de la región pampeana, a algunos de ellos solo podemos mencionarlos, para otros disponemos de un valor aproximado, y hemos avanzado en la implicancia social de la pérdida de MO (**Figura 1**). La metodología utilizada para realizar éstos cálculos es “costo de reposición” y “pérdidas de producción, de industrialización y de derechos de exportación”. La zona a la que referiremos los resultados se caracteriza por tener 80% de ocupación del suelo con soja de primera y 70% de la tierra trabajada es “no propia” bajo diversas modalidades contractuales. Los suelos son Argiúdoles típicos y vérticos.

### Costo de la compactación y de la orientación de los poros del suelo y de la disminución de la actividad biológica

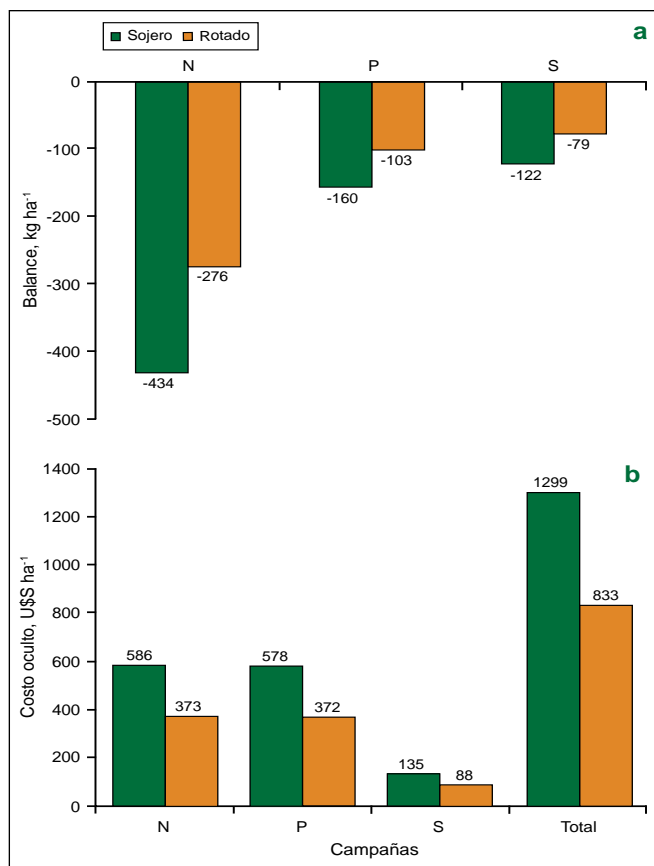
Los efectos negativos sobre el estado físico y biológico del suelo que produce el predominio de soja en la secuencia de cultivos se han medido, pero aún no tienen asignado un costo en dinero. Por lo tanto, esto constituye un ejemplo de costos no disponibles para ser considerados en las cuentas empresariales.

Determinaciones realizadas a campo nos muestran que el predominio de soja, combinado con siembra directa y con el material limoso original del suelo, produce compactación sub-superficial que se manifiesta a través de una continuidad de estados masivos sin porosidad interna. Estos se distribuyen en el perfil constituyendo un piso con un 70-80% de continuidad, interrumpido por sectores con terrones soldados sin porosidad interna de agregados. Se observan muy pocos signos de actividad biológica, el desarrollo de raíces secundarias es poco profuso y las primarias estaban acodadas o bifurcadas.

Por el contrario, los lotes rotados con gramíneas presentaron solo 40-45% de continuidad de piso con presencia de bloques aislados interrumpidos por sectores sueltos de excelente porosidad y abundantes signos de actividad biológica y presencia de raíces del cultivo. Estos bloques masivos aislados se corresponden con huellas visibles desde la superficie asociados al tránsito de equipos correspondientes a las labores habituales de la agricultura de la última campaña. Gerster et al. (2002) encontraron correlación entre la presencia de maíz en la rotación y la ausencia de pisos continuos. Por otro lado, Sasal et al. (2005) encontraron que en siembra directa había una tendencia de los macroporos a estar orientados paralelos a la superficie del suelo y que esto era crítico en la infiltración de agua. La susceptibilidad a esta estratificación de la estructura en los primeros centímetros de suelo fue atribuida a la predominancia de soja en la secuencia de cultivos.



**Figura 2. Rendimiento de cultivos para 10 campañas agrícolas según la secuencia de cultivos (a = sojero; b = rotado). Suelo: Argiudol típico, serie Hansen.**



**Figura 3. Balances acumulados de nutrientes (a) y su “costo oculto” (b), para un total de 10 campañas agrícolas (1995/96-2004/05) según la secuencia de cultivos. Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Azufre (S).**

**Tabla 1. Pérdida económica acumulada 2010-2020 por etapa de la cadena agroindustrial, según tasa de actualización al 3.5% y 10%\*.**

Etapa de la cadena	--- Pérdida económica al 3.5% ---		--- Pérdida económica al 10% ---		Pérdida relativa (%)
	(U\$S ha <sup>-1</sup> )	Total del área (U\$S)	(U\$S ha <sup>-1</sup> )	Total del área (U\$S)	
Producción primaria	142	112 250 075	99	77 967 463	57
Industrial	34	26 776 625	24	18 599 048	14
Estado	73	57 456 363	51	39 908 153	29
Total	249	196 490 964	173	136 474 664	100

\* Se calculó en base a retenciones: soja: 35%; aceite y harina de soja: 32%; biodiesel: 14%.

**Tabla 2. Pérdida del estado relacionada a proyectos nacionales (Secretaría de Obras Públicas, 2011).**

Proyectos	Valor total (\$ argentinos)	Valor total (U\$S)	Cantidad pérdida	Descripción
Autopista Rosario - Córdoba	3 200 000 000	771 084 337	7.5%	Autopista de 312 km de extensión. La pérdida equivale a 23 km de autopista.
Módulo de 250 Viviendas para 5 personas cada una	34 000 000	8 192 771	7 módulos	Ubicadas en partido Pilar. 250 viviendas de 55 m <sup>2</sup> . Alberga a 1250 habitantes. La pérdida equivale a 1750 casas.
Programa "700 escuelas", "Más escuelas" y "Más escuelas II"	4 200 000 000	1 012 048 193	5.7%	Proyecto a finalizar de 1816 escuelas. Valor promedio de la escuela U\$S 560 000. La pérdida es equivalente a 103 escuelas.

### Costo oculto de nutrientes

Este es un ejemplo en el que se puede aplicar el costo de reposición, pues existe un valor de mercado. Se realiza el balance por diferencia entre la cantidad de nutrientes que se exportan con los granos y lo aplicado por fertilización, asumiendo una eficiencia de utilización del fertilizante de 1:1. A este resultado lo denominamos "costo oculto". Los rendimientos de 10 campañas agrícolas de un lote con predominancia de soja en la secuencia de cultivos, comparado los de su par bajo rotación con gramíneas, así como sus respectivos balances y "costos ocultos" de nutrientes se muestran en las **Figuras 2 y 3**. En las mismas se observa que el lote "sojero" tuvo balance más negativo de N, P, y S que el "rotado", lo cual resultó en un "costo oculto" aproximado de U\$S 1300 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

### Costo de la materia orgánica

Este costo se calculó proyectando las pérdidas de producción, industrialización y de derechos de exportación ocasionadas por la disminución de MO. Esta metodología asignará distintos valores

al recurso según el potencial productivo de la zona y se modificará según el paradigma productivo del momento, los rendimientos, los precios de los productos y las políticas de comercialización. Los resultados se generan en un escenario con cierto nivel de incertidumbre por la existencia de factores con diferentes grados de predictibilidad.

Se proyectó la evolución 2010-2020 del carbono orgánico del suelo (COS) para el centro-sur de la provincia de Santa Fe y se determinó su impacto económico en el sistema productivo y social (Trossero et al., 2012). La superficie sembrada con los principales cultivos del área es cercana a 800 000 ha. La proyección 2010-2020 de superficie y rendimiento de los cultivos se tomó de Fundación Producir Conservando (Oliverio y López, 2010). La dinámica del COS se simuló con el modelo AMG (Andriulo et al., 1999). La pérdida de rendimiento de soja se calculó según Bacigaluppo et al. (2006). El impacto económico en la producción primaria se determinó multiplicando la pérdida de rendimiento por su precio. Solo se consideró a la soja ya que, entre primera y segunda fecha de siembra, ocupa casi el 90% del área. El impacto social

se definió como el valor de los productos industriales perdidos y del dióxido de C ( $\text{CO}_2$ ) emitido, valorado según el mercado de C.

La pérdida acumulada en 10 años fue  $3.06 \text{ Mg COS ha}^{-1}$ . La pérdida económica total fue de  $249 \text{ U}\$ \text{ ha}^{-1}$  con tasa de descuento libre de riesgo de 3.5% (**Tabla 1**), resultando en  $81 \text{ U}\$ \text{ Mg}^{-1} \text{ COS}$ . La producción primaria y el estado resultaron los sectores más afectados. La pérdida del estado argentino por menor recaudación de derechos de exportación se comparó con el costo de obras públicas (**Tabla 2**). Por otra parte, el costo derivado del cambio climático fue igual a  $154 \text{ U}\$ \text{ ha}^{-1}$  y  $50 \text{ U}\$ \text{ Mg}^{-1} \text{ COS}$  por emisiones de  $\text{CO}_2$ , considerando la tasa de actualización de 3.5%. La magnitud de la pérdida total en el área estudiada (menor al 3% de la superficie nacional con cultivos anuales), induce a gestionar el uso sustentable del recurso.

### Conclusiones

- Las exportaciones agroindustriales se hacen en gran parte a expensas del recurso natural suelo. Ello implica un costo oculto “no contabilizado” por las empresas agropecuarias y tampoco incluido en las cuentas nacionales.
- El deterioro del suelo tiene costo privado y costo social. Se propone un análisis de la rentabilidad considerando al suelo como un activo económico y social.
- El manejo nutricional observado determinó un balance más negativo de nutrientes en la secuencias con predominio de soja comparado con aquellas en rotación con gramíneas.
- El costo del C resultó igual a  $81 \text{ U}\$ \text{ Mg}^{-1} \text{ COS}$  por pérdida de producción y  $50 \text{ U}\$ \text{ Mg}^{-1} \text{ COS}$  por cotización en el mercado internacional de C.
- Este tipo de información permite incorporar el impacto del deterioro del suelo como herramienta de gestión para planificar el uso sustentable del mismo.

### Bibliografía

- Andriulo, A., B. Mary, y J. Gueriff. 1999. Modeling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie* 19:365-377.
- Azqueta Oyarzum, D. 1994. Valoración Económica de la Calidad Ambiental. Editorial McGraw Hill. Madrid. 298 p.
- Bacigaluppo, S., J. Dardanelli, G. Gerster, A. Quijano, y M. Balzarini. 2006. Variaciones del rendimiento de soja en el sur de Santa Fe. Factores limitantes de clima y suelo. *IPNI. Informaciones Agronómicas* 32:12-15.
- Cordone, G., F. Martínez, y R. Pagani. 2006. ¿Son

correctos los balances de las empresas agropecuarias y las cuentas nacionales? *Agromercado*, 254: 9-11.

Deaglio, M. 2004. Postglobal. Sello Debate, Editorial Sudamericana S.A., Buenos Aires.

Garizábal Carmona, C. 2004. Necesidad de la valoración económica de la calidad ambiental en el modelo actual de desarrollo sustentable. Monografías. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. <http://www.monografias.com/trabajos16/valoracion-calidad-ambiental/valoracion-calidad-ambiental.shtml>

Gerster, G., A. Gargicevich, G. Cordone, y C. González. 2002. Factores edáficos y prácticas culturales asociados al rendimiento de soja. *Actas Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACS. Puerto Madryn*, 2002.

INTA. 2003. Documento sobre Sostenibilidad, diciembre 2003. Disponible on-line en: [http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/07-inta\\_y\\_sustentabilidad.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/07-inta_y_sustentabilidad.pdf)

Oliverio, G., y G.M. López. 2010. Argentina 2020. La Agricultura argentina al 2020. Informe para Fundación Producir Conservando. Septiembre 2010. Disponible on-line en: [http://www.producirconservando.org.ar/documentos/argentina\\_2020\\_final.pdf](http://www.producirconservando.org.ar/documentos/argentina_2020_final.pdf)

Sasal, M.C., Andriulo A.E., y M.A. Taboada. 2005. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil Till. Res.* Article in Press, Corrected Proof, available on line 22 March 2005.

Secretaría de Obras Públicas. 2011. (<http://www.obraspublicas.gov.ar/>). Acceso 29 de julio de 2011.

Trossero, M., G. Cordone, y L. Donnet. 2012. ¿Cuánto vale la pérdida de carbono orgánico del suelo? *Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo-XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata*, 16-20 abril de 2012. ❁



Cosecha de Soja en Santa Fe, Argentina.



# Productividad y eficiencia en el uso de agua y nitrógeno en sistemas intensificados

Octavio P. Caviglia<sup>1</sup>, R.H. Rizzalli<sup>2</sup>, N.V. Van Opstal<sup>1</sup>, P. Barbieri<sup>2</sup>, R.J.M. Melchiori<sup>1</sup>, A. Cerrudo<sup>2</sup>, V.C. Gregorutti<sup>1</sup>, J.P. Monzón<sup>2</sup>, P.A. Barbagelata<sup>1</sup>, J.J. Martínez<sup>2</sup>, F.O. García<sup>3</sup>, y F.H. Andrade<sup>2</sup>

## Introducción

La creciente población mundial y los cambios en sus ingresos y hábitos alimenticios demandarán, en el corto plazo, importantes aumentos en la producción de granos y otros productos agrícolas. Gran parte de las demandas mundiales deberán satisfacerse con la producción agrícola de Sudamérica (OECD-FAO, 2009). Este desafío debe ser logrado preservando los recursos naturales y la calidad de vida de la población rural y urbana (Lobell et al., 2009). Los actuales sistemas agrícolas de varios países de Sudamérica están fuertemente basados en cultivos estivales, principalmente soja, realizados como únicos cultivos en el año y manejados con prácticas agronómicas orientadas a lograr la mayor rentabilidad posible sin considerar el impacto sobre el deterioro potencial de los recursos naturales involucrados, especialmente el suelo, y el impacto sobre otros ecosistemas (Caviglia y Andrade, 2010). La utilización de prácticas mejoradas de producción que combinan todo el conocimiento agronómico disponible orientado a incrementar la producción de un cultivo individual con un mínimo impacto ambiental ha sido definida como intensificación ecológica (Cassman, 1999).

Por otra parte, la intensificación sustentable de la secuencia de cultivos (Caviglia y Andrade, 2010), a través del incremento de la cantidad de cultivos por unidad de tiempo, ha sido propuesta como una alternativa que permite incrementar la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos del ambiente, principalmente agua y radiación solar. Ambos conceptos se complementan en la necesidad de una mayor producción y un mínimo impacto ambiental. El desafío de mayores rendimientos de los sistemas de producción requiere de la mayor eficiencia productiva de los recursos nitrógeno (N), agua y tierra, con el menor impacto posible sobre los recursos naturales suelo, atmósfera y aguas superficiales y subsuperficiales (Lobell, 2007).

Como respuesta a una iniciativa del Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI) (<http://www.globalmaize.com/Home/>), en el año 2009 se iniciaron dos experimentos de largo plazo en Balcarce (Buenos Aires) y Paraná (Entre Ríos) con el objetivo de comparar, en el largo plazo, el manejo actual de los productores con sistemas intensificados de manejo de suelos y cultivos. La evaluación de los sistemas está basada en la productividad de los recursos y en

indicadores de impacto ambiental. En este trabajo se presentan indicadores de productividad y eficiencia de uso del agua y del N obtenidos en los primeros dos años de ambos experimentos.

## Materiales y métodos

Cada experimento contempla la realización de una secuencia fija de 3 cultivos (trigo/soja de segunda – maíz) en 2 años, en las EEA INTA Paraná (32° S, 60° W) y Balcarce (38° S, 58° W). Se presentan los resultados correspondientes a las campañas 2009-10 y 2010-11. En ambos experimentos se incluyeron las dos fases de la rotación en cada año, es decir que el cultivo de maíz o el doble cultivo trigo/soja de segunda se realizaron todos los años. El objetivo de los experimentos es evaluar dos niveles del factor manejo agronómico, que se diferencian en los criterios para la toma de decisiones de manejo de cada cultivo:

1. **Manejo intensificado sustentable (MIS):** las decisiones se toman en base a conocimientos previos tendientes a mejorar la eficiencia del sistema, incrementar los rendimientos y la sustentabilidad en el largo plazo.
2. **Manejo actual del productor medio de la zona (MAP):** se utiliza el nivel promedio de manejo del productor de cada zona, basado en la opinión de asesores expertos.

Los componentes de manejo aplicados en cada tratamiento (MAP y MIS) fueron diferentes en Paraná y Balcarce (**Tabla 1**). En el año 2009 se desfasó la fecha de siembra de maíz en el tratamiento MAP, tanto en Paraná como en Balcarce. Las diferencias entre niveles de manejo del cultivo de soja en Paraná estuvieron sólo en la elección del genotipo (adaptado a la fecha de siembra vs. cultivar de grupo de madurez más difundido). En Balcarce no se diferenciaron los manejos para soja.

En Paraná se incluyó en el experimento el factor de intensificación de la secuencia (ISI), con dos niveles: Alto y Medio. En el nivel Alto se incluye un cultivo de cobertura invernal leguminoso (Melilotus, vicia o arveja), con el objetivo de incorporar N por vía de la fijación biológica para reducir los aportes inorgánicos del nutriente (fertilizantes) en la secuencia. El cultivo de cobertura, se incluye en el periodo más largo entre cultivos, luego de la cosecha de la soja y previo a la siembra de maíz.

<sup>1</sup> INTA EEA Paraná - Ruta 11, km 12.5 (3100) Paraná - Argentina. Correo electrónico: [ocaviglia@parana.inta.gov.ar](mailto:ocaviglia@parana.inta.gov.ar)

<sup>2</sup> Unidad Integrada Balcarce INTA FCA-UNMDP - Argentina

<sup>3</sup> IPNI Cono Sur

**Tabla 1. Componentes del manejo actual del productor medio de la zona (MAP) y del manejo intensificado sustentable (MIS) en Paraná y Balcarce.**

Sitio	Cultivo	Componente de manejo	MIS	MAP
Balcarce	Trigo	Cultivar	Alto potencial (cv. tipo Baguette)	Alta calidad (cv. tradicional)
		Densidad (sem m <sup>-2</sup> )	400	360
		Fósforo	FDA* en línea a la siembra Reposición**	FDA en línea a la siembra 30% < que reposición
		Nitrógeno	Urea en macollaje Dosis según análisis de suelo y rendimiento objetivo	
		Fungicida e Insecticida	Según monitoreo	No
	Maíz	Cultivar	Alto potencial y estabilidad, RG***, Bt	RG
		Densidad (sem m <sup>-2</sup> )	8	6.5
		Dist. e/ Hileras (m)	0.525	0.7
		Fósforo	FDA en línea a la siembra Reposición	FDA en línea a la siembra 30% < que reposición
		Nitrógeno	Dosis según análisis de suelo y rendimiento objetivo, UAN en V6	Dosis según análisis de suelo y rendimiento objetivo Urea a la siembra
Paraná	Trigo	Cultivar	Alto potencial	Más sembrado
		Densidad (sem m <sup>-2</sup> )	400	350
		Fósforo	FDA en línea a la siembra Suficiencia	FDA en línea a la siembra Dosis fija (70 kg ha <sup>-1</sup> )
		Nitrógeno	Urea en macollaje Dosis según análisis de suelo (135-x****)	Urea en macollaje, Dosis fija (80 kg ha <sup>-1</sup> )
		Fungicida e Insecticida	Si	Si
	Maíz	Cultivar	Alto potencial, RG	Costo medio de semilla, RG
		Densidad (sem m <sup>-2</sup> )	8	6
		Dist. e/ Hileras (m)	0.525	0.525
		Fósforo	FDA en línea a la siembra Suficiencia	FDA en línea a la siembra Dosis fija (120 kg ha <sup>-1</sup> )
		Nitrógeno	Urea en V6 Dosis según análisis de suelo (150-x****)	Urea en V6 Dosis fija (120 kg ha <sup>-1</sup> )

\* FDA = Fosfato diamónico; \*\* Reposición implica la aplicación de cantidades de P equivalentes a la extracción en grano de cada cultivo; \*\*\* RG = Resistente a glifosato; \*\*\*\* Dosis de N a aplicar descontando x, la cantidad de N-NO<sub>3</sub> en el suelo (0-0.60 m).

El ISI (número de cultivos por año), es de 2 y 1.5 para los niveles Alto y Medio, respectivamente.

- Alto (ISI = 2, trigo/soja-melilotus/maíz)
- Medio (ISI = 1.5, trigo/soja-barbecho/maíz)

A madurez fisiológica de los cultivos se evaluó la biomasa aérea (MS) y el rendimiento en granos. Se estimó la evapotranspiración (ET) de los cultivos en base a mediciones de humedad del suelo y a la utilización de balances hídricos por simulación. Se

determinó la acumulación de N en la biomasa aérea y la concentración de N en los granos.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) se estimó como el cociente entre el rendimiento en granos (EUA<sub>g</sub>) total o materia seca total (EUA<sub>MS</sub>) y la ET total de los cultivos. La eficiencia de captura de agua (ECA) se estimó como el cociente entre la ET total de los cultivos y las lluvias en el periodo evaluado, mientras que la productividad del agua (PA) se estimó como el producto de la EUA y la ECA (Caviglia et al., 2004).

La productividad parcial de N (PPN) se estimó como el rendimiento total de los cultivos sobre la dosis total de N aplicado con los fertilizantes (Dobermann, 2007). La eficiencia fisiológica de uso del N ( $EUN_{Fis}$ ) se calculó como el cociente entre el rendimiento total y la cantidad total de N acumulado en la biomasa aérea ( $N_{Abs}$ ). Se estimó un balance parcial de N (BPN) como el cociente entre el N total aplicado con los fertilizantes y el N exportado en los granos ( $N_{Exp}$ ) (Dobermann, 2007).

Los índices de productividad y eficiencia en el uso del N y del agua fueron determinados para la rotación completa (2 años de duración). Se calculó el promedio de los índices obtenidos para cada una de las dos fases y se realizó un análisis de la variancia y test de comparación de medias dentro de cada sitio.

## Resultados y discusión

### Rendimiento en granos y en materia seca

El rendimiento total en granos fue mayor ( $P < 0.0001$ ) con el MIS que con el MAP en ambos sitios (Figura 1). En Balcarce, el rendimiento total en granos fue un 18% y 29% mayor que en Paraná, en los tratamientos MIS y MAP, respectivamente. La contribución de cada cultivo al rendimiento total tuvo marcadas diferencias entre sitios y entre tratamientos. La contribución del maíz en el tratamiento de MAP en Paraná fue del 43%, mientras que en el resto de las situaciones estuvo en el 61-63% (Figura 2). En consecuencia, la contribución de la soja y del trigo fue más importante en el tratamiento de MAP en Paraná que en el resto de las situaciones.

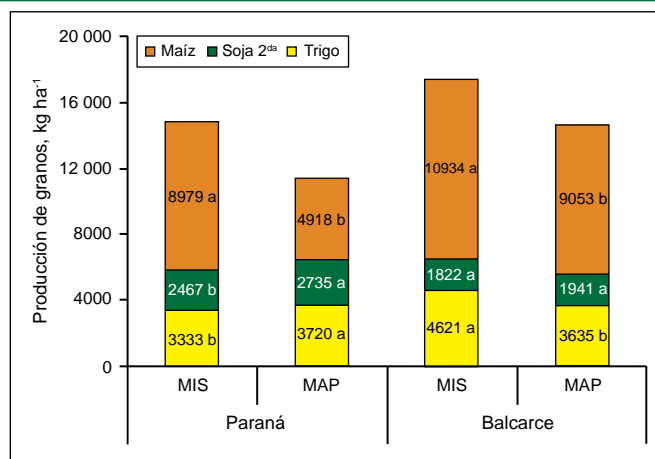
El rendimiento de la soja fue muy poco afectado por los tratamientos (<11% de diferencia), así como el rendimiento del trigo en Paraná. El mayor efecto de los tratamientos se evidenció en el cultivo de maíz y en el cultivo de trigo en Balcarce (>20% de diferencia).

La producción de MS también fue significativamente afectada por los tratamientos de manejo en ambos sitios, aunque el impacto de los mismos fue menor que para el rendimiento en granos. La acumulación de MS fue de 35 277 y 33 019  $kg\ ha^{-1}$  en Paraná, y de 36 574 y 32 772  $kg\ ha^{-1}$  en Balcarce para los tratamientos MIS y MAP, respectivamente.

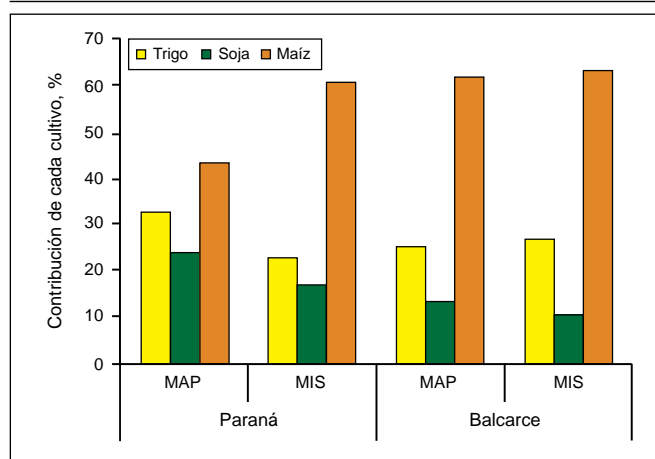
### Uso del agua

La productividad del agua para granos ( $PA_g$ ) se incrementó significativamente ( $P < 0.0001$ ) en el tratamiento de MIS en comparación con el de MAP (Tabla 2), en mayor medida en Paraná (30%) que en Balcarce (19%). Un comportamiento similar se registró para la productividad del agua para materia seca ( $PA_{MS}$ ), aunque con menor impacto de los tratamientos.

Los valores de  $PA_g$  obtenidos en el tratamiento de MIS son muy elevados comparados con los 3-4  $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$



**Figura 1. Rendimiento de trigo, soja de segunda y maíz en tratamientos MAP y MIS en EEA Balcarce y EEA Paraná. Datos promedio de las campañas agrícolas 2009/10 y 2010/11. Rendimientos expresados a 0% de humedad en el grano. Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas entre manejos, dentro de cada sitio, según test de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).**



**Figura 2. Contribución porcentual de cada cultivo a la producción total en grano en Paraná y Balcarce.**

actualmente obtenidos en la Argentina (estimado en base a estadísticas MAGyP, 2011), reflejando la potencialidad de la aplicación de estas estrategias de manejo para incrementar la eficiencia de los sistemas. Aunque la  $PA_g$  de los tratamientos de MAP también fue superior a los valores medios del país, esto es atribuible a la composición de cultivos de este experimento (trigo/soja-maíz) en relación a la composición de la superficie cultivada a nivel nacional con alrededor del 60% de soja en su composición (estimado en base a estadísticas MAGyP, 2011).

Las mayores  $PA_g$  y  $PA_{MS}$  en los tratamientos de MIS estuvieron solamente asociadas con las mejoras en la  $EUA_g$  y  $EUA_{MS}$ , ya que no se registraron cambios en la ECA por efecto de los tratamientos de manejo. La mayor PA en Balcarce que en Paraná estuvo asociada con mayores ECA y EUA, tanto para grano como para materia seca. A su vez, la mayor EUA en Balcarce puede atribuirse al menor déficit de presión de vapor del sitio, tal como ha sido documentado previamente (Abbate et



al., 2004). La mayor ECA en Balcarce que en Paraná estaría asociada con la menor cantidad de precipitaciones registradas en Balcarce (21% menos) en los dos años de la experiencia aquí documentada.

La intensificación de la secuencia en Paraná, incluyendo un cultivo de cobertura leguminoso invernal previo al maíz, mejoró significativamente la ECA pero no la  $EUA_g$ , resultando en cambios poco importantes, pero significativos, en la  $PA_g$  (Tabla 3).

Los resultados obtenidos sugieren que mediante el MIS serían esperables pocas mejoras de la PA por incrementos en la ECA y mejoras muy importantes en la EUA, mientras que la intensificación de la secuencia, i.e. incrementando la cantidad de cultivos por unidad de tiempo, lleva a mejoras importantes principalmente en la ECA. Así, combinando ambas estrategias de intensificación se pueden lograr mejoras en la PA, mejorando el componente de eficiencia de uso a través del MIS y el componente de eficiencia de captura a través de la intensificación de la secuencia.

### Uso del Nitrógeno

El N total acumulado ( $N_{Abs}$ ) por los cultivos fue similar entre tratamientos de manejo en Paraná y mayor en el MIS en Balcarce (Tabla 4). La cantidad total del  $N_{Abs}$  fue mucho mayor en Paraná en comparación con Balcarce, lo que es atribuible a la mayor contribución de la soja al rendimiento total (Figura 1). La misma causa explica la mayor cantidad de N exportado ( $N_{Exp}$ ) en los granos en Paraná, la que no difirió entre tratamientos de manejo en ambos sitios (Tabla 4). Como era esperable la PPN fue mayor en los tratamientos de MAP que en los de MIS, debido a que las dosis aplicadas en este último fueron mayores en relación al incremento en los rendimientos logrados.

Sin embargo, la eficiencia fisiológica de uso del N ( $EUN_{Fis}$ ), i.e. la habilidad de los cultivos de generar grano por unidad de  $N_{Abs}$ , fue remarcablemente mejorada por los tratamientos de MIS en relación a los de MAP (11% en Balcarce, 30% en Paraná) (Tabla 4). La mayor  $EUN_{Fis}$  en Balcarce que en Paraná, se debería a la mayor contribución de maíz al rendimiento total, cultivo que tiene una alta eficiencia para transformar el  $N_{Abs}$  en grano y materia seca (Sinclair y Horie, 1989).

**Tabla 2. Productividad del agua para granos ( $PA_g$ ), para materia seca (PAMS), eficiencia el uso del agua para granos ( $EUA_g$ ) y para materia seca ( $EUA_{MS}$ ) y eficiencia de captura del agua (ECA) en el promedio de dos fases de rotación trigo/soja-maíz en Paraná (32° S; 60° W) y Balcarce (38° S, 58° W) durante las campañas agrícolas 2009/10 y 2010/11. Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas entre manejos, dentro de cada sitio, según test de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).**

Variable	Unidades	----- Paraná -----		----- Balcarce -----	
		MIS	MAP	MIS	MAP
$PA_g$	kg grano ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	6.7 a	5.1 b	9.9 a	8.3 b
$PA_{MS}$	kg MS ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	15.9 a	14.9 b	20.8 a	18.6 b
$EUA_g$	kg grano ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	12.3 a	9.4 b	13.9 a	11.8 b
$EUA_{MS}$	kg MS ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	27.4 a	25.3 b	29.4 a	26.5 b
ECA	mm <sub>Abs</sub> mm <sub>pp</sub> <sup>-1</sup>	0.59 a	0.59 a	0.71 a	0.70 a

**Tabla 3. Productividad del agua para granos ( $PA_g$ ), eficiencia el uso del agua para granos ( $EUA_g$ ) y eficiencia de captura del agua (ECA) bajo diferentes manejos agronómicos (MIS y MAP), en el promedio de dos fases de rotación trigo/soja-maíz en Paraná (32° S; 60° W) durante las campañas agrícolas 2009/10 y 2010/11. Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas entre manejes, dentro de cada sitio, según test de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).**

Variable	Unidades	MIS	MAP
		----- (ISI = 1.5) -----	
$PA_g$	kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	6.2 a	5.6 b
$EUA_g$	kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	11.2 a	10.6 a
ECA	mm <sub>Abs</sub> mm <sub>pp</sub> <sup>-1</sup>	0.56 b	0.62 a

**Tabla 4. Nitrógeno total absorbido por los cultivos ( $N_{Abs}$ ), productividad parcial del N (PPN), eficiencia fisiológica de uso del N ( $EUN_{Fis}$ ), N exportado en los granos ( $N_{Exp}$ ) y balance aparente de N en el promedio de dos fases de rotación trigo/soja-maíz en Paraná (32° S; 60° W) y Balcarce (38° S, 58° W) durante las campañas agrícolas 2009/10 y 2010/11. Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas entre manejos, dentro de cada sitio, según test de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).**

Variable	Unidades	----- Paraná -----		----- Balcarce -----	
		MIS	MAP	MIS	MAP
$N_{Abs}$	kg ha <sup>-1</sup>	431 a	433 a	384 a	355 b
PPN	kg grano kg $N_{fert}$ <sup>-1</sup>	78 b	90 a	108 b	132 a
$EUN_{Fis}$	kg grano kg $N_{Abs}$ <sup>-1</sup>	34.3 a	26.4 b	45.8 a	41.3 b
$N_{Exp}$	kg N ha <sup>-1</sup>	311 a	312 a	311 a	287 a
BPN	kg N ha <sup>-1</sup>	0.62 a	0.41 b	0.54 a	0.4 b

Asimismo, el BPN fue mejorado por el MIS en un 35% y 51% en Balcarce y Paraná, respectivamente. Aunque en el MIS, el balance aparente se encuentra bastante alejado del óptimo de 1, debe tenerse en cuenta que no se consideró en este balance el aporte de N por fijación biológica de la soja.

Estos resultados demuestran que el MIS, combinando mejores prácticas de manejo, puede incrementar la eficiencia en el uso del N de manera considerable, mejorando los rendimientos, los aportes de residuos al suelo y el balance de N en el suelo. La mejora es atribuible principalmente a la utilización de genotipos más eficientes y al manejo ajustado de la nutrición de los cultivos, utilizando el conocimiento disponible en cada sitio.

Los resultados preliminares obtenidos en este trabajo son promisorios, ya que indican que la combinación de estrategias de manejo intensificado de los cultivos y de la secuencia pueden llevar a mejoras importantes en la eficiencia global de aprovechamiento de agua y N, lo que tendría su correlato en la reducción de la externalidades del sistema, ya que el N y el agua que no son aprovechados por el sistema agrícola intervienen en procesos degradativos del ambiente (Gregory et al., 2002).

Está previsto que la duración de esta experiencia sea, al menos, de 10 años y que se incorporen mediciones del impacto ambiental de cada uno de estos sistemas incluyendo la emisión de gases de efecto invernadero, impacto sobre el almacenaje de carbono y N en el suelo, y la pérdida de nutrientes y plaguicidas por lixiviación.

## Conclusiones

- En Balcarce y Paraná, el manejo intensificado sustentable (MIS) mejoró el rendimiento total en granos de sistema y el retorno de residuos de cosecha al suelo en comparación con el manejo del productor medio de la zona (MAP).
- La PA fue mejorada por el MIS en comparación con el MAP, principalmente por incrementos importantes en la eficiencia en el uso del agua. La ECA fue mejorada en Paraná por la intensificación de la secuencia, pero dicho incremento no fue suficiente para mejorar la PA.
- El MIS incrementó la  $EUN_{Fis}$  y el balance de N y redujo la PPN en comparación con el MAP.

## Agradecimientos

A Andrea Irigoyen y Aida Della Maggiora de la UIB. A todos los participantes de la iniciativa de los sitios de Paraná y Balcarce. Este trabajo fue financiado por INTA, IPNI y FCA-UNMdP.

## Bibliografía

- Abbate, P.E., J.L. Dardanelli, M.G. Cantarero, M. Maturano, R.J.M. Melchiori, y E.E. Suero. 2004. Climatic and water availability effects on water-use efficiency in wheat. *Crop Science*, 44:474-483.
- Cassman, K. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and

precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96:5952-5959.

Caviglia, O.P., y F.H. Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean pampas: Capture and use efficiency of environmental resources. *Am. J. Plant Sci. Biotechnol* 3:1-8.

Caviglia, O.P., V.O. Sadras, y F.H. Andrade. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Res.* 87:117-129.

Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency - measurement and management. pp 1-28. In *Fertilizer Best Management Practices*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs). 7-9 March, 2007. Brussels, Belgium.

Gregory, P.J., J.S.I. Ingram, R. Andersson, R.A. Betts, V. Brovkin, T.N. Chase, P.R. Grace, A.J. Gray, N. Hamilton, T.B. Hardy, S. Howden, A. Jenkins, M. Meybeck, M. Olsson, I. Ortiz-Monasterio, C.A. Palm, T.W. Payn, M. Rummukainen, R.E. Schulze, M. Thiem, C. Valentin, y M.J. Wilkinson. 2002. Environmental consequences of alternative practices for intensifying crop production. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 88:279-290.

Lobell, D.K., K. Cassman, y C. Field. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2009. 34:4.1-4.26

MAGyP. 2011. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Base de datos sistema integrado de información agropecuaria. Disponible en: <http://www.minagri.gob.ar>. Acceso 3 de marzo de 2011.

OECD-FAO. 2009. *Agricultural Outlook 2009-2018*. Disponible en <http://www.agri-outlook.org/dataoecd/2/31/43040036.pdf>. Consultado septiembre 2011.

Sinclair, T.R., y T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Science*, 29:90-98. 🌱



**Grupo de investigadores visitando el ensayo de sistemas intensificados de Balcarce en Abril 2012.**

# Alternativas de fertilización del doble cultivo trigo/soja. Efectos sobre la productividad y algunas propiedades del suelo

Hugo Vivas<sup>1</sup>, Ricardo Albrecht<sup>1</sup>, Luciano Martins<sup>1</sup> y José L. Hotián<sup>2</sup>

## Introducción

La región central de la provincia de Santa Fe (Argentina), al igual que el resto de la región pampeana argentina, se caracteriza desde hace varias décadas por sistemas agrícolas continuos y bajo siembra directa, con incrementos importantes de rendimiento (MAGyP, 2012). En este sentido, contribuyeron los avances genéticos (Nisi et al., 2004; Santos et al., 2006), la tecnología de la fertilización (Salvagiotti y Miralles, 2008; Vivas et al., 2011), y el manejo de los cultivos (Caviglia et al., 2004; Villar y Cencig, 2008), entre otros. En este contexto, el trigo y la soja siempre formaron parte de las rotaciones agrícolas y constituyen una de las cosechas más demandantes en nutrientes, particularmente cuando integran el doble cultivo.

A medida que los ensayos experimentales específicos fueron constatando los beneficios productivos de los nutrientes en las cosechas, los productores y profesionales fueron y aún continúan siendo informados y convocados a observar los resultados a campo. El énfasis en la fertilización por parte de los profesionales e instituciones es constante, pero el proceso de adopción implica más tiempo, permaneciendo todavía, sujeto en gran parte, a las variaciones de los precios en los insumos, productos y de los mercados.

Se sostiene que la fertilización sin restricciones de agua en el suelo, no solo puede aumentar la producción de una determinada cosecha, sino también que las sucesivas aplicaciones en el tiempo, podría promover la población microbiana general y una progresiva construcción de "fertilidad". Este concepto se refiere a la habilidad relativa del suelo de suministrar tanto agua como nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (SSSA, 1997). Zhong y Cai (2007), en un ensayo de larga duración, señalaron al fósforo (P) y al nitrógeno (N) como promotores de la biomasa microbiana y su funcionalidad, permitiendo aumentar los rendimientos y la acumulación del carbono por la descomposición radicular y las rizodeposiciones. Los mismos autores, señalaron que los nutrientes mencionados no tuvieron un efecto directo sobre los parámetros biológicos sino indirectos, a través del carbono orgánico del suelo, que posteriormente podría implicar un aumento de la materia orgánica (MO).

El objetivo del presente trabajo fue determinar los efectos de manejos diferenciales de N, P y azufre (S) durante 10 años sobre la producción del doble cultivo trigo/soja de 2<sup>da</sup>, y evaluar las modificaciones de algunas propiedades químicas del suelo generadas por las alternativas de fertilización.

## Materiales y métodos

La experiencia se llevó a cabo en la Unidad Demostrativa Agrícola propiedad de la Cooperativa Agrícola Ganadera de Bernardo de Irigoyen en conjunto con la Agencia de Extensión Rural Gálvez y el Área de Investigación en Agronomía del INTA Rafaela (Santa Fe, Argentina). Durante 10 años (2000-2009) se evaluaron seis tratamientos de fertilización con N, P y S en parcelas de 80 m de largo por 12.60 m de ancho, sin repeticiones, sobre un suelo Argiudol típico de la serie Clason franco limosa. La secuencia de cultivos fue el doble cultivo trigo/soja de 2<sup>da</sup>. Luego de 10 años se evaluó la producción acumulada de los 10 años (2000-2009), y se realizó un muestreo de suelo (0-5 cm y 0-20 cm) en cada franja para la determinación de P extractable (Bray I), MO y pH. En la campaña 2010-11, el trigo y la soja fueron manejadas con una fertilización única y uniforme en todas las parcelas para determinar los efectos residuales de las alternativas de fertilización seguidas entre 2000 y 2009.

Al inicio de la experiencia, en el año 2000, las determinaciones de suelo (0-20 cm) para el área de trabajo fueron: MO 2.54%; P Bray 9.7 ppm y pH 6.0. Las variantes de fertilización establecidas durante 10 años (2000-2009), siempre sobre las mismas parcelas, se describen en la **Tabla 1**.

**Tabla 1. Dosis de nutrientes aplicados en trigo/soja durante 10 años consecutivos (2000-2009). Bernardo de Irigoyen, Santa Fe.**

Tratamiento	N	P	S
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
Testigo (T)	0	0	0
P	0	15	0
N	63	0	0
NP	63	15	0
NS	63	0	20
NPS	63	15	20

<sup>1</sup> INTA EEA Rafaela, Rafaela, Ruta 34, km 227 - CC 22 - 2300 Rafaela, Santa Fe, Argentina.

<sup>2</sup> Coopertiva Agrícola Bernardo de Irigoyen. Juan XXIII No. 128. (2248) Bernardo de Irigoyen, Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: hvivas@rafaela.inta.gov.ar



Los trabajos de siembra y fertilización fueron hechos con maquinaria comercial y la cosecha con trilladora de parcelas. Las fuentes de nutrientes utilizadas fueron: urea (46-0-0) en el caso de N, superfosfato triple de calcio (0-20-0) para P, y sulfato de amonio (21-0-0-24S) como fuente azufrada.

En el año 2010, toda la superficie del ensayo se fertilizó uniformemente al momento de la siembra de la gramínea con una mezcla de 87 kg ha<sup>-1</sup> de N, 21 kg ha<sup>-1</sup> de P y 13 kg ha<sup>-1</sup> de S. El trigo, variedad Klein Gavilán, se sembró el 23-06-2010 y se cosechó el 06-12-2010. La soja de 2<sup>da</sup>, variedad RA 633, fue sembrada el 21-12-2010 y cosechada el 19-05-2011. Previo a la cosecha del trigo 2010 y de la soja de 2<sup>da</sup> en 2011 se volvieron a marcar las franjas originales y se evaluaron los rendimientos mecánicamente con trilladora de parcelas mediante muestreos compuestos en cada franja o tratamiento.

Las condiciones hídricas de la campaña 2010-11 fueron muy favorables para el crecimiento y desarrollo del trigo y no tanto para la soja (**Figura 1**). Para trigo se observó que las precipitaciones de febrero, marzo, abril y mayo permitieron un buen abastecimiento de

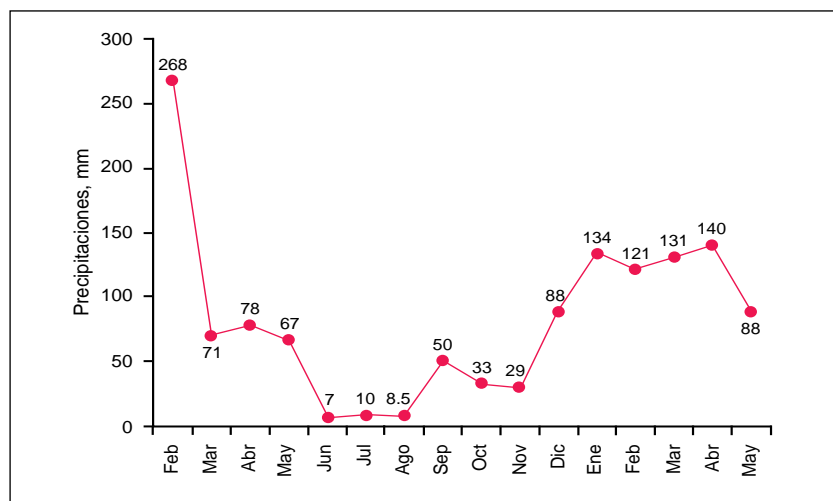
agua con eventos muy oportunos durante septiembre y octubre. No se detectaron enfermedades fúngicas y se registraron rendimientos máximos para la zona. En cambio sobre la soja de 2<sup>da</sup>, previo a la siembra y posterior a ella, hubieron periodos de sequía seguidos de abundantes precipitaciones que favorecieron el desarrollo de los hongos *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid y *Rhizoctonia solani* Kühn, con incidencia negativa sobre el llenado del grano y la actividad foliar.

## Resultados

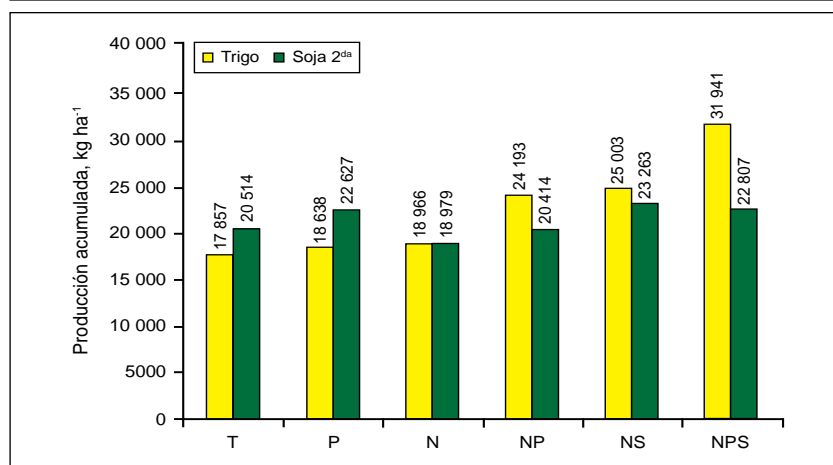
### Respuesta productiva

La producción acumulada del trigo y la soja de 2<sup>da</sup> en los primeros 10 años se puede apreciar en la **Figura 2**. El total acumulado de grano (trigo + soja) para cada uno de los tratamientos (T, P, N, NP, NS y NPS) fue de 38 371, 41 265, 37 945, 44 607, 48 266 y 54 748 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A través de las sucesivas franjas fertilizadas, el trigo fue aumentando los rendimientos acumulados pero comenzó a sobresalir con la fertilización NP o NS y fue más notable en el tratamiento NPS. Se observaron



**Figura 1. Distribución de las precipitaciones durante el ciclo del trigo y la soja de 2<sup>da</sup>. Campaña 2010-11. Bernardo de Irigoyen, Santa Fe.**



**Figura 2. Producción acumulada de trigo y soja de 2<sup>da</sup> en 10 años de cosecha (2000-2009) sobre las diferentes franjas de fertilización. Bernardo de Irigoyen, Santa Fe.**

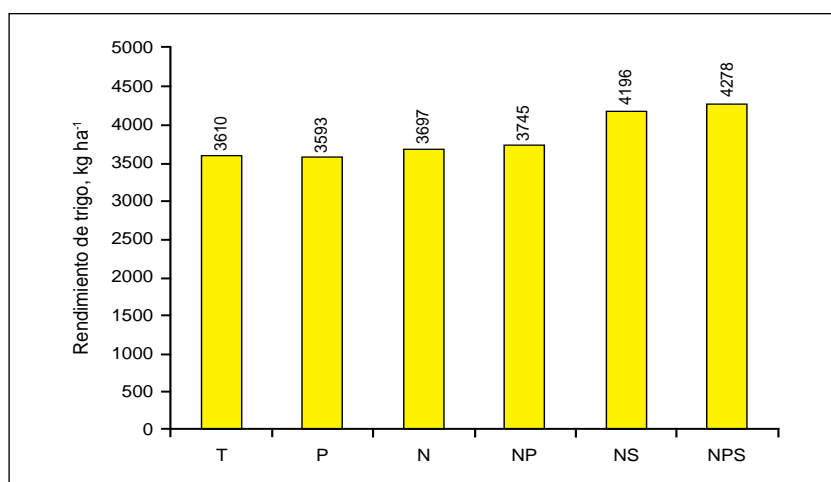
pocas diferencias entre NP y NS destacando un efecto aditivo e independiente de P y S. Sin duda la combinación NPS fue la superior. Con soja de 2<sup>da</sup>, los mayores incrementos en rendimiento sobre el Testigo, se observaron con P, NS o NPS pero las diferencias fueron menos notables que con trigo, posiblemente, entre otras causas, por ser una cosecha muy dependiente de las precipitaciones de estación (Lehrsch et al., 1994), de las variedades y su grupo de maduración y de las enfermedades propias del cultivo.

Del total de grano acumulado en 10 años, al trigo le correspondió el 51.5% y a la soja de 2<sup>da</sup> el 48.5%. Otro dato comparativo que surge de la **Figura 2** es que para el trigo la diferencia acumulada por fertilización de NPS vs T fue 14 084 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que para soja significó solo 2293 kg ha<sup>-1</sup> de grano (NPS vs T). De la información surge que en la rotación I trigo/soja de 2<sup>da</sup>, el mayor beneficio es esperable en el trigo y el menor en soja. Las necesidades de fertilización deberían ser optimizadas para trigo y esperar efectos residuales en la soja de 2<sup>da</sup>.

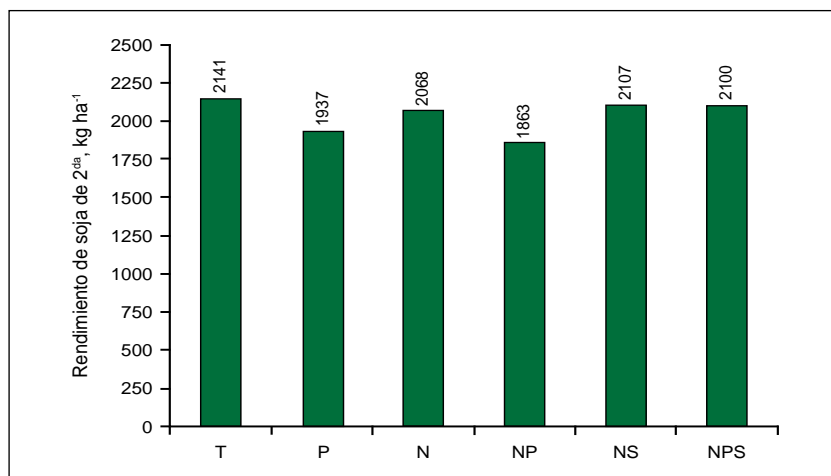
Respecto del doble cultivo trigo/soja de 2<sup>da</sup> 2010-11, utilizado como "tester", las óptimas condiciones meteorológicas y sanitarias de la campaña del trigo 2010 permitieron la expresión de altos rendimientos del

cultivo. A pesar que el trigo tuvo una fertilización única y uniforme con dosis de N, P y S elevadas para la zona, los rendimientos fueron diferentes entre las franjas de fertilización observándose importantes y elevados efectos residuales (**Figura 3**).

La franja testigo T alcanzó una producción de 3610 kg ha<sup>-1</sup> señalando las óptimas condiciones ambientales de la campaña. En contraste, la franja con fertilización balanceada NPS durante 10 años previos, permitió alcanzar un rendimiento de 4278 kg ha<sup>-1</sup>: + 82 kg ha<sup>-1</sup> respecto de la que no recibió P, + 533 kg ha<sup>-1</sup> comparada con la que no recibió S, + 581 kg ha<sup>-1</sup> respecto de la que no recibió P ni S, + 685 kg ha<sup>-1</sup> comparada con la que no recibió N ni S, y + 668 kg ha<sup>-1</sup> respecto de la franja que no recibió fertilización alguna, durante el mismo periodo. Esta comparación remarca la relevancia del manejo de la nutrición azufrada sobre el rendimiento de trigo en la secuencia trigo/soja de segunda. La baja respuesta "residual" a P posiblemente se debe a la buena provisión de azufre que en varios estudios y cultivos manifestó independencia del P y fue capaz por si mismo de aumentar los rendimientos, aún cuando el P extractable del suelo fue muy bajo (Vivas et al., 2010).



**Figura 3. Rendimiento de trigo 2010-11 sobre las diferentes franjas de fertilización 2000-09. Bernardo de Irigoyen, Campaña 2010-11.**

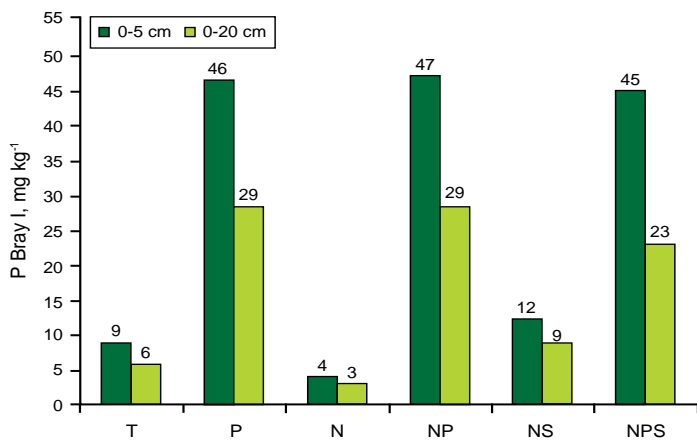


**Figura 4. Rendimiento de soja de 2<sup>da</sup> sobre las diferentes franjas de fertilización 2000-09. Bernardo de Irigoyen, Campaña 2010-11.**

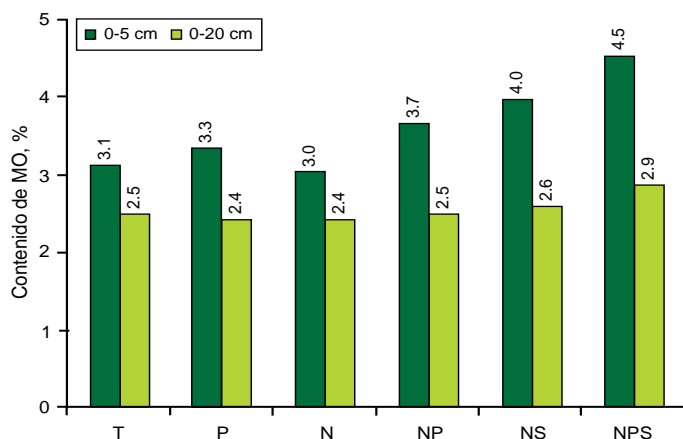
La producción del cultivo de soja de 2<sup>da</sup> en la campaña 2010-11 se puede observar en la **Figura 4**. Luego que el trigo alcanzó el estado fenológico de grano lechoso avanzado (Zadoks 77), las lluvias comenzaron a ser escasas (fines de octubre, noviembre y diciembre), por lo tanto la soja de 2<sup>da</sup> recién implantada dispuso de escasa humedad en el suelo provocando un establecimiento desuniforme del cultivo que posiblemente afectó la expresión del rendimiento en las franjas con mayor fertilidad. A partir del primer decanato de enero y hasta mediados de febrero de 2011 las lluvias fueron normales. Posteriormente sucedieron 17 días sin precipitaciones con el cultivo en R3-R4 donde comenzó a tener estrés hídrico manifestándose por rodeos enfermedades como *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid y *Rhizoctonia solani* Kühn. A pesar de todo se alcanzó un promedio de 2036 kg ha<sup>-1</sup>. Los rendimientos fueron menores en los tratamientos P y NP, indicando la deficiencia de S del sistema. Los tratamientos T y N alcanzaron rendimientos similares a los tratamientos con S (NS y NPS), probablemente porque la extracción acumulada de S en los 10 años previos fue menor.

En las **Figuras 5, 6 y 7** se muestran los valores de P Bray, MO y pH a la siembra del trigo 2010-11, posterior a las 10 cosechas trigo/soja de 2<sup>da</sup>. En todas las franjas donde se fertilizó con P, los valores P Bray de 0-20 cm superaron los 23 ppm y de 0-5 cm fueron superiores a 45 ppm. Evidentemente, la franja P alcanzó valores elevados de P Bray debido a la fertilización anual y la baja producción relativa de trigo y soja de 2<sup>da</sup> en los 10 años de evaluación y por la falta de los nutrientes complementarios N y S.

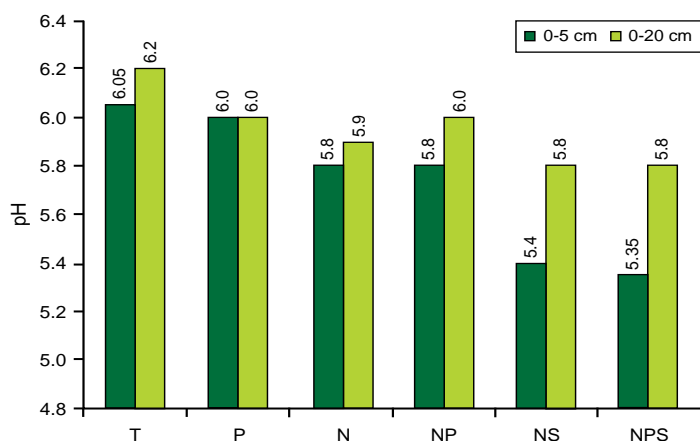
Se observó un aumento gradual del porcentaje de MO con las combinaciones de nutrientes NPS y los mayores rendimientos de trigo/soja entre 2000 y 2009 (**Figura 6**). Para la profundidad de 0-20 cm, la MO varió de 2.5% en el tratamiento T hasta 2.9% en el tratamiento NPS. Para 0-5 cm, la tendencia fue más pronunciada variando de 3.1% en T hasta 4.5% en NPS. En ambas profundidades, el mayor contenido de MO presenta efectos positivos sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, sirviendo como reservorio para N, P y S y fuente energética para los microorganismos (Stevenson, 1986). Para la experiencia que se discute, las franjas con valores superiores de MO se observaron en los tratamientos de mayores rendimientos, probablemente a partir de diferencias en el aporte de carbono a través una mayor producción de materia seca.



**Figura 5. Fósforo extractable (P Bray I) en las diferentes franjas de fertilización luego de 10 años de tratamientos, a dos profundidades (0-5 cm y 0-20 cm) y previo a la siembra del trigo 2010. Bernardo de Irigoyen, Campaña 2010-11.**



**Figura 6. Materia orgánica (MO), previo a la siembra del trigo 2010, a dos profundidades (0-5 cm y 0-20 cm) en las diferentes franjas de fertilización luego de 10 años de tratamientos. Bernardo de Irigoyen, Campaña 2010-11.**



**Figura 7. Acidez del suelo (pH) a dos profundidades (0-5 cm y 0-20 cm) en las diferentes franjas de fertilización luego de 10 años de tratamientos y previo a la siembra del trigo 2010. Bernardo de Irigoyen, Campaña 2010-11.**

En todas las profundidades se observó una tendencia decreciente en el pH, más pronunciada a 0-5 cm que a 0-20 cm (**Figura 7**). A 0-20 cm de profundidad, la variación fue de 6.2 (T) a 5.8 (NPS), un rango muy frecuente en los actuales sistemas agrícolas. Por el contrario, a 0-5 cm, los valores para T fueron de 6.05 y para NPS de 5.35, pasando por NS con 5.4, registros considerados no deseables (Bohn et al., 1979). La mayor acidez superficial en NS y NPS, podría atribuirse tanto a la fertilización nitrogenada y azufrada como a la mayor extracción de bases (calcio y magnesio) y la mayor cantidad de MO (**Figura 6**) para esos tratamientos. A pesar de las diferencias entre las capas de suelo, para el espesor diagnóstico común (0-20 cm), no se registraron valores de pH considerados problemas, todos fueron iguales o superiores a 5.8.

### Consideraciones finales

- La producción acumulada de trigo/soja en 10 años de evaluación mostró los mayores rendimientos de trigo con el tratamiento NPS. En soja de 2<sup>da</sup>, los rendimientos más altos se lograron en los tratamientos con S.
- Las franjas de fertilización de las 10 campañas previas generaron condiciones nutricionales residuales que contribuyeron a lograr incrementos en los rendimientos de trigo en el año 2010, destacándose la residualidad del S.
- La MO tuvo una tendencia creciente en los tratamientos de fertilización NPS y se asoció con las franjas más productivas de trigo.
- El pH mostró una tendencia decreciente en los tratamientos con fertilización NPS. Si bien los niveles actuales aun se ubican en valores aceptables, se debería continuar monitoreando la evolución de la acidez del suelo.
- La fertilización combinada NPS durante 10 años, además de potenciar los rendimientos de trigo en 2010, permitió mejoras en la fertilidad del suelo, reflejadas en los valores de P y MO.

### Agradecimientos

Se desea agradecer el análisis de las muestras de suelos al Laboratorio de la EEA INTA Rafaela en las personas de Susana Hoffman y Mara Boglione.



## Bibliografía

- Bohn, H.L., B.L. McNeal, y G.A. O'Connor. 1979. Soil Chemistry. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons. 329 p.
- Caviglia, O.P., V.O. Sadras, y F.H. Andrade. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Research*. 87:117-129.
- Lehrsch, G.A., F.D. Whisler, y N.W. Buerhring. 1994. Cropping system influences on extractable water for mono-and double-cropped soybean. *Agricultural Water Management*. 26:13-25.
- MAGyP. 2012. En <http://www.siaa.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura>
- Nisi, J., C. Bainotti, J. Frascina, M. Formica, y J. Salines. 2004. Avances en el mejoramiento del rendimiento de grano en cultivares de trigo. VI Congreso Nacional de Trigo. Bahía Blanca. Octubre 2004. pp. 29-30.
- Salvagiotti, F., y D.J. Miralles. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *Europ. J. Agronomy*. 28:282-290.
- Santos, D.J., B. Ferrari, D. Fresoli, P. Beret, R. Benavidez, R. Vicentini, M. Della Magdalena, M. Mondino, G. Salas, S. Lustig, M. Antongiovani, M. Devani, M. Lizondo, L. Erazzu, L. Salines, H. Baigorri, C. Nari, R. Rossi, J. Dolinkue, R. Wright, L. Curti, O. Sanmartin, y A.J. de la Vega. 2006. Ganancia Genética en Soja en Argentina entre 1980 y 2000. En: *Actas de Mercosoja* 2006. 26 al 30 de Junio de 2006, Rosario, Argentina. pp. 196-200.
- SSSA. 1997. Glossary of Soil Science Terms, 1996. Madison WI. 138 p.
- Stevenson, F.J. 1986. Carbon balance of the soil, and role of organic matter in soil fertility. In *Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur and Micronutrients*. Department of Agronomy. University of Illinois. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons. 380 p.
- Villar, J., y G. Cencig. 2008. Estabilidad de cultivares de soja en diferentes fechas de siembra en Rafaela, Santa Fe. Campañas 2005, 2006 y 2007. INTA EEA Rafaela. Información Técnica Cultivos de Verano. Campaña 2008. Publicación Miscelánea No. 112.
- Vivas, H.S., N. Vera Candioti, R. Albrecht, L. Martins, O. Quaino, y J.L. Hotian. 2010. Fósforo y Azufre en una secuencia de cultivos para una fertilización cada dos cosechas. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2010. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea 118:86-92.
- Vivas, H.S., N. Vera Candioti, R. Albrecht, L. Martins, y J.L. Hotian. 2011. Fertilización con Fósforo y Azufre en rotación de cultivos del centro de Santa Fe, Argentina: Beneficios productivos y económicos y evolución del P extractable. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 1:17-21.
- Zhong, W.H., y Z.C. Cai. 2007. Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay. *Applied Soil Ecology*. 36:84-91. 🌱



El autor del artículo, Ing. Agr. M. Sc. Hugo Vivas, en las parcelas de soja del ensayo de alternativas de fertilización.

# Los más recientes micronutrientes vegetales

Adriana Elina Ortega<sup>1</sup> y Eurípedes Malavolta<sup>2</sup>

## Introducción

Los elementos que se encuentran en el sistema suelo-planta pueden ser: *i*) Esenciales: sin ellos la planta no vive; *ii*) Benéficos: con ellos aumenta el crecimiento y la producción en situaciones particulares o la tolerancia a condiciones desfavorables del medio (clima, plagas, enfermedades, compuestos tóxicos del suelo, del agua o del aire), pero la planta puede vivir sin ellos (i.e. Na, V); y *iii*) Tóxicos: con ellos disminuye su crecimiento y producción, pudiendo llegar a provocar la muerte (por ej. Al, Pb, Cr, Cd, Hg). Cabe aclarar que todo elemento es potencialmente tóxico en altas concentraciones. Los elementos categorizados como tóxicos, lo son inclusive a muy bajos tenores (Malavolta et al., 1997).

Un elemento es considerado esencial cuando cumple con uno o con los dos criterios de esencialidad establecidos por Arnon y Stout (1939): *i*) Directo: el elemento participa de algún compuesto vital o de alguna reacción crucial para la vida de la planta; y *ii*) Indirecto: en ausencia del elemento la planta no completa su ciclo de vida, muestra síntomas de carencia y muere, ya que no puede ser sustituido por ningún otro elemento. En general, cada uno de los elementos esenciales confirma los dos criterios de esencialidad (Malavolta, 1994; Malavolta et al., 1997).

Hace medio siglo atrás (1954) se conocían los siguientes nutrientes esenciales: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn). Cobalto (Co), níquel (Ni), y selenio (Se) se han sumado a la lista recientemente. Por otra parte, hay indicios de que el silicio (Si) podría entrar en la lista de los micronutrientes, aunque sería más pertinente considerarlo como benéfico o cuasi-esencial (Epstein, 1999). El sodio (Na), como regla general, es considerado como benéfico, no obstante es esencial para algunas especies halófitas y posiblemente para plantas de metabolismo C4 (Tabla 1).

Los elementos esenciales se encuentran en distintas concentraciones en la materia seca, las cuales se reflejan en las cantidades exigidas, contenidas o agregadas de ellos. De acuerdo con esto, se los ha dividido en macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (B, Cl, Cu, Mn, Fe, Zn, Co, Mo, Ni y Se). Así, un cultivo de soja que produce 3000 kg de granos y un peso de materia seca total de 8000 kg ha<sup>-1</sup>, metaboliza 3500 kg de C, 450 kg de H, 3300 kg de O<sub>2</sub>, 600 kg de macronutrientes y 13 kg de micronutrientes (Malavolta et al., 1997).

## Funciones de los nuevos micronutrientes

Al igual que otros nutrientes esenciales, esta serie de elementos más recientemente descrita, ejerce funciones específicas en la vida de las plantas (Tabla 2).

### Cobalto (Co)

El Co era un elemento ampliamente reconocido como beneficioso y aplicado en agricultura en diversos cultivos, junto con el Mo. El Co es esencial para fijadores libres y simbióticos en el proceso de fijación biológica de N atmosférico. En la vida de las plantas superiores es considerado un nutrimento porque interviene en el metabolismo de los carbohidratos y de las proteínas por su participación en diversos sistemas enzimáticos (Malavolta et al., 1997, USDA 2001, FAO 2005). El Co es absorbido como Co<sup>2+</sup> y es transportado por el flujo transpiratorio, por lo cual tiende a acumularse en los márgenes y puntas de las hojas. Cuando se absorbe vía foliar, es prácticamente inmóvil y tiende a formar quelatos de igual forma que sucede con Cu, Fe, Mn y Zn.

El tenor en la materia seca vegetal está normalmente entre 0.02 y 0.05 mg kg<sup>-1</sup> (ppm). Algunas especies acumulan Co, sin manifestar toxicidad, hasta valores centenas de veces mayores: i.e. *Niza sylvatica* presenta hasta 1000 mg kg<sup>-1</sup>, *Crotalaria* cobalticola tiene entre

Tabla 1. Descubrimiento de la esencialidad de los micronutrientes en plantas superiores (Brownell, 1965; Delwiche et al., 1961; Epstein, 1999; Eskew et al., 1983; Marschner, 1986; Wen y Chen, 1988).

Elemento	Referencia
Fe	Sachs, 1860
Mn	McHague, 1922
B	Warington, 1923
Zn	Sommer y Lipman, 1926
Cu	Lipman y MacKinney, 1931
Mo	Arnon y Scout, 1938
Cl	Broyer et al., 1954
Co	Delwiche et al., 1961
Ni	Eskew et al., 1983
Se	Wen y Chen, 1988
Na*	Brownell, 1965
Si**	Epstein, 1999

\* Esencial para especies halófitas y, posiblemente, de metabolismo C4.  
\*\* Benéfico o cuasi-esencial.

<sup>1</sup> INTA EEA Salta, CC 228 - 4400 Salta, Argentina. Correo electrónico: aortega@correo.inta.gov.ar

<sup>2</sup> CENA, Piracicaba, Brasil

**Tabla 2. Funciones y procesos en los que actúan los elementos Co, Ni, Se, Na, y Si, y su participación en la producción de cultivos (Ferreira et al., 2001; Malavolta, 1994; Malavolta et al., 1997; Marschner, 1986; Mengel y Kirkby, 2000; UC SAREP, 2003).**

Elemento	Función estructural	Función enzimática	Función metabólica	Efectos
Co	Vitamina B12 y derivados importantes en la síntesis de la Leghemoglobina	Deshidratasas Mutasas Fosforilasas Transferasas	FBN Regulación hormonal (ABA, Etileno) Metabolismo de carbohidratos y proteínas Síntesis de clorofila	Favorece la FBN Mayor formación de raíces
Ni	-	Ureasa	Metabolismo del N	Hidrólisis de la urea Favorece el crecimiento
Se	ARN mensajero	Actividad hidrogenasa	Síntesis proteica FBN	Favorece el crecimiento y la fructificación
Si	Pared celular (SiO <sub>2</sub> hidratada)	-	Síntesis de lignina	Disminuye la toxicidad por Mn, Fe y Al. Aumenta la resistencia a enfermedades. Aumento de rendimiento y calidad
Na	-	-	Control hormonal (Citoquininas) Síntesis de clorofila (en plantas C4)	Sustituye en parte al K (propiedades osmóticas) Expansión celular Favorece la fotosíntesis y el balance de agua. Aumento de rendimiento y calidad

FBN: Fijación biológica del nitrógeno.

500 y 800 mg kg<sup>-1</sup>. Tales plantas pueden servir como indicadores de la presencia de minerales ricos en Co.

En el caso de los cultivos de leguminosas que forman nódulos con bacterias de los géneros *Rhizobium* o *Bradyrhizobium*, se lo aplica en dosis muy pequeñas del orden de g ha<sup>-1</sup>, principalmente junto con la inoculación de las semillas y/o en aspersiones foliares. En algunos lugares de Brasil, es posible que la respuesta a la aplicación de P se relacione a la presencia de Co y Mo como contaminantes de los fertilizantes fosfatados (Tabla 8). Experiencias en el cultivo de poroto (*Phaseolus vulgaris*), observaron respuestas en rendimiento similares agregando P, a razón de 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> como superfosfato simple (SPS; 0-23-0), ó agregando Co+Mo a razón 0.25g + 13 g ha<sup>-1</sup>: Testigo 583 kg ha<sup>-1</sup>, con P 1526 kg ha<sup>-1</sup>, y aplicando Co + Mo 1532 kg ha<sup>-1</sup> (Malavolta, 1994).

Por otra parte, se ha estudiado que la aplicación foliar de una solución que contiene 1000 mg l<sup>-1</sup> de sulfato de Co antes de la diferenciación de los botones florales del mango, reduce la malformación de flores entre 84 y 94%. También, los sulfatos de Cd y de Ni tienen efecto semejante pero menos acentuado. La mal formación floral es caracterizada por la deformación de las panículas, supresión de la dominancia apical, acortamiento de los ejes primarios y secundarios y preponderancia de flores grandes y estaminadas. El

tratamiento aumenta el tamaño y el peso de los frutos y la producción. En concentraciones muy bajas aumenta la duración de las rosas cortadas, reduciendo la formación de etileno que acelera la senescencia (Malavolta et al., 1997).

### Níquel (Ni)

El Ni fue considerado comúnmente un elemento tóxico para las plantas superiores. Sin embargo, estimula la germinación y el crecimiento de varios cultivos, además de ser esencial para un gran número de bacterias, como componente metálico de las enzimas ureasa y de muchas hidrogenasas. Las aplicaciones foliares con sales de Ni son muy efectivas para combatir la roya de los cereales por su toxicidad para el patógeno y por la resistencia que otorga en el hospedero (Malavolta y Moraes, 2005). Actualmente, existe evidencia que el Ni sostiene la función de la enzima ureasa (cataliza la hidrólisis de la urea) de plantas superiores, y es requerido por leguminosas (Eskew et al., 1983; 1984) y no leguminosas (Brown et al., 1987; Hernández Gil, 2002). El Co puede remplazarlo en la ureasa de las hojas de pepino pero con una menor actividad específica. Por lo expresado anteriormente, Marschner (1995) considera al Ni un elemento esencial para las plantas superiores. Es absorbido como Ni<sup>++</sup>, y es transportado por el xilema como complejos o quelatos orgánicos



aniónicos. Presenta una capacidad intermedia de redistribución en la planta; en el suelo su movilidad es media en condiciones de oxidación, elevada en ambiente ácido y muy baja en ambiente neutro a alcalino y reductor (Malavolta et al., 1997).

Fue descubierto recientemente que el síntoma de "oreja de ratón" del pecan se debía a la deficiencia de Ni. Su concentración en la hojas con carencia era de 0.4 - 0.5 mg Ni kg<sup>-1</sup> (suelos con 0.4-1.4 kg Ni ha<sup>-1</sup>) y en hojas tratadas con ausencia de síntomas, de 7-26 mg Ni kg<sup>-1</sup>. Las deficiencias de Ni se revierten con 1-2 pulverizaciones foliares en primavera con fertilizantes (10-100 mg Ni l<sup>-1</sup> + urea + surfactante) o con extracto acuoso de *Alyssum murale*, un hiperacumulador (Wood et al., 2004 a, b, c; Wood et al., 2006).

De un modo general, el tenor de Ni adecuado es de 1.5 mg kg<sup>-1</sup>. Los tenores generalmente encontrados están entre 0.05-5 mg kg<sup>-1</sup>, encontrándose las mayores concentraciones en flores y frutos. Los síntomas de toxicidad aparecen cuando están entre 25-50 mg kg<sup>-1</sup> del peso seco en las plantas. Sin embargo, la vegetación nativa de suelos de serpentina (con altos contenidos de silicatos de Mg) acumula cantidades muy grandes de Ni, llegando a valores de 19 000 mg kg<sup>-1</sup> (Malavolta et al., 1997; Malavolta y Moraes, 2005).

### Selenio (Se)

El Se posee un efecto estimulante en bajas concentraciones, sustituye al S de la ferredoxina de algunas plantas y es necesario para la actividad de la nitrato reductasa de *Escherichia coli*. El Se fue encontrado en el ARN mensajero de muchas especies vegetales, lo que indica su participación en la síntesis de proteínas y lo convierte en esencial para plantas superiores (Wen et al., 1988). A partir de este trabajo, Malavolta (1994) lo considera un nutriente vegetal. El Se ingresa al vegetal como seleniato (SeO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) o selenito (SeO<sup>-2</sup>). Las propiedades químicas del Se son muy parecidas a las del S. El seleniato y el sulfato compiten por los mismos sitios de absorción en las raíces. Es incorporado en aminoácidos análogos a los que contienen S (selenocisteína, selenometionina).

Es más común encontrar referencias de toxicidad de Se que de deficiencia en vegetales. Hay mucha variación en la capacidad de las especies para absorber el elemento y se da en el siguiente orden creciente: crucíferas, forrajeras gramíneas, leguminosas, cereales. Se distinguen dos categorías: *i)* Plantas con tolerancia limitada, en las cuales el tenor no pasa de 5 mg kg<sup>-1</sup> (gramíneas forrajeras, leguminosas); y *ii)* Plantas que acumulan hasta 10 veces más sin consecuencias negativas (cereales). Las seleníferas *Astragalus bisulcatus* y *A. pectinatus* acumulan millares de mg kg<sup>-1</sup> sin mostrar efectos tóxicos (Malavolta et al., 1997).

### Silicio (Si)

El carácter benéfico del Si es atribuido, principalmente, por el aumento en la resistencia de enfermedades en plantas acumuladoras de este elemento -se localiza en la pared celular o cerca de la misma dificultando la penetración del agente patógeno- y por la disminución del efecto tóxico del exceso de Mn, Fe y Al en suelos ácidos. La esencialidad del Si fue demostrada para algunos cultivos por el criterio indirecto: en su falta diversas especies (tomate, pepino) no completan su ciclo y antes de morir muestran síntomas de deficiencia (Takahashi y Miyake, 1977 citado en Marschner, 1986; y Malavolta, 1997). En general, parece más adecuado considerarlo benéfico o cuasi-esencial (Epstein, 1999).

Es absorbido como ácido monosilícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) no disociado en un proceso activo, parecería que es sensible a la temperatura y a los inhibidores metabólicos. La savia bruta del arroz tiene una concentración cien veces mayor que la solución radical en forma de ácido monosilícico. La mayor proporción del Si en la planta se encuentra como sílice amorfa hidratada (SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O). En ciertas especies, particularmente de gramíneas, es común la presencia de cuerpos silicosos insolubles. Después de solidificado se vuelve inmóvil en la planta: en las células epidérmicas del arroz, debajo de la cutícula, aparece una capa de sílica, que ayudaría a limitar la pérdida de agua por transpiración y dificultar la penetración de hifas de los hongos. En las dicotiledóneas esa capa no aparece (Malavolta, 1997).

Las plantas cultivadas difieren mucho en la capacidad de absorber el Si. Marschner (1986) las divide en tres grupos según su contenido de SiO<sub>2</sub> en orden decreciente: *i)* Gramíneas de tierras inundadas como el arroz, *ii)* Gramíneas de tierra seca como caña de azúcar y la mayoría de los cereales, y *iii)* La mayoría de las dicotiledóneas, especialmente las leguminosas.

Los efectos reconocidos de Si incluyen (Malavolta et al., 1997; Ferreira, 2001; Fancelli, 2005; UC SAREP, 2006):

*i) Resistencia a las enfermedades y plagas en hojas y raíces:* La resistencia del arroz a los hongos *Helminthosporium oryzae* y *Pyricularia oryzae* se aumenta con una elevación del tenor de Si en la planta hasta un cierto punto. En suelos pobres en Si disponible (5 mg dm<sup>-3</sup> de Si en ácido acético diluido), la adición de silicato disminuye la severidad de las enfermedades causadas por *Bipolares oryzae* y *Pyricularia grises*, y aumenta los rendimientos. La adición de silicato de K a la solución nutritiva aumentó la actividad de la quitinasa del pepino y aún más la de las peroxidases y polifenoloxidasas, aumentando la resistencia a *Pythium spp.* Algunos fenoles extraídos de plantas tratadas con Si mostraron acción fungistática contra *Pythium* y *Cladosporium cucumerinum*. Mejora el uso del agua en el poroto y reduce la

incidencia de *Fusarium spp.* La adición de silicato a la solución nutritiva en instalaciones comerciales para la producción de pepino en el Canadá es realizada rutinariamente para ayudar a controlar el mildiu.

ii) **Elementos en solución edáfica:** Hay un aumento en la disponibilidad de P en el suelo. Podría ser porque el silicato lo desorbe de los sitios de adsorción (o los ocupa preferencialmente) en la arcilla y en los sesquióxidos, o porque disminuye la actividad de los iones  $Al^{3+}$  en solución, evitando que estos precipiten el  $H_2PO_4^-$ . Disminuye la intoxicación con Al, Fe y Mn en suelos ácidos. Aumenta la disponibilidad de Zn en altas concentraciones de P y bajas de Zn. Aumenta el crecimiento de raíces de las plantas que crecen con bajas concentraciones de Ca.

iii) **Aumento de rendimiento y/o calidad:** El arroz, con la aplicación de Si en suelos orgánicos, manifiesta un aumento en la eficiencia del uso del agua y en la producción de granos, en la concentración de este elemento en hojas y en la resistencia a las enfermedades y al vuelco (Yoshita, 1980; Zinder et al., 1986; citados en Ferreira et al., 2001). En caña de azúcar, la aplicación de silicato en suelos pobres en Si disponible aumentó el rendimiento y la concentración de sacarosa, y en algunos casos, los aumentos de producción de azúcar fueron muy elevados (Fox et al., 1967; citado en Ferreira et al., 2001). En colza o canola (*Brassica napus*) fue observada una interacción positiva entre Si y B: la adición de Si aumentó la materia seca de la raíz y de la parte aérea cuando era bajo el contenido de B, pareciendo estimular la absorción y el transporte de B en esas condiciones y aumentando también la fotosíntesis.

### Sodio (Na)

El Na es un elemento benéfico para las plantas superiores porque puede sustituir parcialmente al K en funciones no específicas, contribuyendo a la generación de potencial osmótico y turgencia celular, cuando el suelo es pobre en este elemento (Malavolta et al., 1997). Los cultivos poseen diferentes capacidades de sustitución de K por Na en la producción (Figura 1) y además, generalmente tienen una absorción preferencial para el K. Es un elemento esencial, por el criterio indirecto, para la halófito *Atriplex vesicaria* (familia *Chenopodiaceae*) y para especies, generalmente gramíneas, que hacen la fotosíntesis vía C4, pero no para las plantas C3 (Brownell, 1979). Es considerado un micronutriente, aún para halófitas extremas (Flowers et al., 1977; citado en Marschner, 1986).

El Na es absorbido activamente como ión  $Na^+$ . Las plantas con síntomas severos de deficiencia se recuperan rápidamente, una semana después de recibir Na en solución nutritiva. La respuesta al Na depende del mayor o menor transporte del mismo hacia la

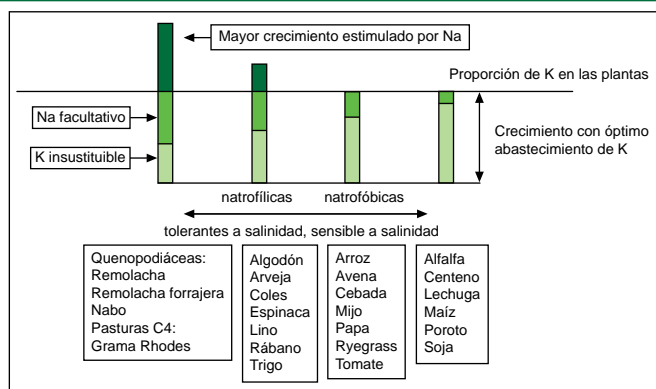


Figura 1. Esquema tentativo de clasificación de los cultivos de acuerdo con la capacidad de sustitución de  $K^+$  por  $Na^+$  (Ferreira et al., 2001; Malavolta, 1994; Malavolta et al., 1997; Marschner, 1986; Mengel y Kirkby, 2000; UC SAREP, 2003).

parte aérea. Maíz y poroto, en los cuales el transporte es mínimo, no responden a la fertilización con Na en la misma escala en que lo hacen plantas como la remolacha, en las cuales el movimiento es sustancial. Las plantas que no recibieron salitre de Chile ( $NaNO_3$ ) como fuente de N muestran  $0.6 \text{ g Na kg}^{-1}$  en las hojas, en cuanto las fertilizadas presentaron  $0.9 \text{ g Na kg}^{-1}$ , un aumento de 50%, indicando transporte de Na hacia la parte aérea (Malavolta et al., 1997). Algunas especies que fijan el  $CO_2$  vía C4, responden positivamente al agregado de Na. Por ej., ciertas variedades de caña de azúcar (C4) cuentan con la capacidad de sustitución parcial del K por Na: la SP71-6163 y 70-1284, en cuanto otras variedades como SP 71-1406 no cuentan con esta capacidad (Malavolta et al., 1997).

### Deficiencias y toxicidades

La planta selecciona limitadamente en cantidad y calidad los elementos que absorbe, es así que su composición refleja las condiciones medias. Que un elemento sea deficiente o excesivo depende de su disponibilidad y/o interferencias en el lugar de desarrollo (Tabla 3).

Existen, además, diferencias entre las plantas en cuanto a la sensibilidad a la escasez o exceso de un nutriente (plantas indicadoras), a sus tolerancias a excesos o a la acumulación de los mismos. A modo de referencia, en la Tabla 4, se presentan concentraciones críticas en planta para el diagnóstico de deficiencia y toxicidad en los principales cultivos.

Las deficiencias de nutrientes ocasionan síntomas característicos en los vegetales (Tabla 5). Estos se deben a la imposibilidad de la planta de cumplir normalmente con funciones fisiológicas en la que interviene el elemento y que posteriormente afectan las características morfológicas. El diagnóstico por síntomas visuales facilita una rápida recomendación, pero se debe tener en cuenta que cuando los síntomas son visibles ya ha ocurrido en el vegetal una disminución considerable de la producción. Elementos diferentes

**Tabla 3. Factores que contribuyen a la deficiencia de micronutrientes (Mengel y Kirkby, 2000; Malavolta y Moraes, 2005).**

Factores	Co	Ni	Se	Si	Na
Textura	Arenosa	-	-	-	-
pH	Neutro, alcalino o muy ácido	> 6.5	Ácido y neutro	> 7	Muy ácido
Materia orgánica	Alta	-	Alta	Alta	-
Régimen de humedad	Alta humedad	Sequía	Anegamiento	-	Alta
Otros factores	Libre de CaCO <sub>3</sub> Alto Fe y Mn Suelos excesivamente cultivados	Encalado excesivo, alto Zn, Mg, P y Cu, dosis altas o tardías N. Ataque de nemátodos	Alto óxidos de Fe y SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Encalado Alto Fe y Al	-
Valores críticos en suelos (mg kg <sup>-1</sup> )	0.02-0.3	0.10-0.40	0.04	5.00 (pobre)	-
Cultivos con respuesta más frecuente	Legumbres, mango, rosa	Cereales, haba, papa, nuez pecán, soja	-	Arroz, caña de azúcar, pepino, tomate	<i>Atriplex vesicaria</i> , Plantas C4

pueden ocasionar síntomas similares y estos varían con el momento de aparición de la deficiencia, su severidad y la interacción con otras deficiencias.

Cuando se intenta diagnosticar la causa de una deficiencia o toxicidad nutricional es necesario complementar las observaciones con análisis de planta y suelo debido a la interacción que existe entre los nutrientes. El exceso o deficiencia de un elemento puede interferir en la absorción en cantidades adecuadas de otros (Tabla 6).

### Fuentes de los nuevos micronutrientes

Las deficiencias se pueden solucionar agregando estos nutrientes a través de fertilizantes y/o enmiendas (Tablas 7 y 8). Una o dos aplicaciones foliares pueden ser suficientes para corregir las deficiencias y lograr un desarrollo normal. Hay que tener en cuenta que, por las pequeñas cantidades requeridas de los micronutrientes, los tenores que se presentan en los fertilizantes o enmiendas de uso masivo, pueden ser suficientes. También existen algunas alternativas de utilización de desechos animales y residuos, que se encuentran en proceso de evaluación (Tabla 8).

### Consideraciones Finales

- La lista de elementos esenciales para las plantas superiores está constituida por: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Ni y Se. Ha sido incrementada en tres nutrientes de los que se conocían hace medio siglo atrás: Co, Ni y Se.
- El Si debería considerarse como benéfico.
- El Na, como regla general, es considerado como benéfico, no obstante es esencial para las halófitas y posiblemente para las plantas C4.
- En general, los requerimientos de Co y Ni son del mismo orden que los de Mo que deben mantenerse

en una concentración alrededor de 0.05 mg kg<sup>-1</sup> de materia seca; los de Se son similares a los del Cu de 5-20 mg kg<sup>-1</sup> de materia seca; y los de Si y Na a los del S de 2-6 g kg<sup>-1</sup> de materia seca.

- En Argentina, el Co se ha trabajado mucho con las leguminosas en rizobiología y ya lo poseen incorporado muchos inoculantes. Hay grupos de trabajo (Ratto, 2005; Vázquez, 2006) que ya están realizando determinaciones de Co y Ni en suelos y vegetales.
- Con respecto al Na, se han utilizado fertilizaciones en tomate en cultivos de primicia de noroeste argentino con relativo éxito para incrementar el sabor y rendimiento.
- En Si, en la EEA Salta se realizan actualmente estudios en fertilización de almácigos flotantes de tabaco como prevención al ataque de *Phytophthora*.
- No se encuentra en el país, oferta de fertilizantes comerciales con Si, Se o Ni, aunque han aparecido las tierras de diatomeas con composición principalmente alta de Si y que contiene a los otros elementos en más bajas concentraciones. Para el Na, se dispone del uso de sal común (NaCl).
- La ciencia ha avanzado y puso en evidencia que existen otros micronutrientes, con estudios de difusión inicial en Argentina y en el mundo, que cobran importancia para los cultivos e indirectamente para la salud de los animales y humanos. Ponerlos en consideración a estudiosos de nutrición vegetal hace que estemos atentos para pensar en soluciones a diversos problemas, presentes o que se pudieran presentar, que todavía no han tenido respuesta.
- ¿Podrían los cultivos responder a los agregados de los elementos esenciales descubiertos más recientemente? Hay mucho por hacer todavía.



**Tabla 4. Concentraciones de suficiencia y toxicidad en planta de los nuevos micronutrientes para diferentes cultivos (Chapman, 1966; Malavolta, 1994; Marschner, 1986; Malavolta et al., 1997; Ratto, 2005).**

Cultivo (Nombre científico)	Parte analizada	Co	Ni	Se	Si	Na
		----- mg kg <sup>-1</sup> -----			----- g kg <sup>-1</sup> -----	
Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> )	Parte aérea madura	0.02-0.24	1.0-4.0	-	-	2.42
	Brotos superiores en prefloración	0.04-0.29	-	-	-	-
	Parte aérea con toxicidad	-	-	-	-	> 8
Algodón ( <i>Gossypium spp.</i> )	Hojas	-	-	-	-	1.61-2.3
	Hojas toxicidad	-	-	-	-	9.4-27.1
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> )	Hojas + rastrojo	-	-	-	40-125	-
	Cáscara	-	-	-	80	-
	Granos	0.006	0.02	-	1	-
	Hojas con toxicidad	-	-	-	-	3.22
Arveja ( <i>Pisum sativum</i> )	Granos maduros	-	2.0	-	-	-
Avena ( <i>Avena sativa</i> )	Parte aérea prefloración	0.03	-	-	-	-
	Tallos maduros	0.05	-	-	-	-
	Granos	0.02	0.45	-	-	-
	Parte aérea prematura	0.04-0.45	7.0	-	-	-
	Lamina foliar	-	-	-	-	0.23-3
	Lamina foliar toxicidad	-	-	-	-	11.5-25
Banano ( <i>Musa spp.</i> )	Brotos superiores en maduración	0.50	-	-	-	-
Bromus ( <i>Bromus spp.</i> )	Parte aérea prefloración	0.08	-	-	-	-
Café ( <i>Coffea spp.</i> )	Cerezas maduras	0.002	0.40	-	-	-
Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> )	Parte aérea	-	-	-	10-30	-
	Bagazo	-	-	-	4.1	-
	Hojas	0.50-1.75	-	-	15.5	1.30-1.40*
Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> )	Hojas inmaduras	0.20-0.30	-	-	-	0.9-1.6
	Parte aérea	0.24	-	-	-	-
	Hojas toxicidad	-	-	-	-	> 8
Centeno ( <i>Secale cereale</i> )	Parte aérea forrajera	0.7	-	-	-	-
Durazno ( <i>Prunus persica</i> )	Hojas	-	-	-	-	0.70-1.70*
	Frutos	-	-	-	-	0.30-0.80*
	Hojas toxicidad	-	-	-	-	6.2-10
	Raíces	-	-	-	-	0.023-1.2
	Raíces toxicidad	-	-	-	-	9.43
Espinaca ( <i>Spinacea oleracea</i> )	Parte aérea comestible	0.07-0.67	2.4	3.15	-	-
Festuca ( <i>Festuca elatior</i> )	Parte aérea prefloración	0.09	-	-	-	-
Frutilla ( <i>Fragaria spp.</i> )	Hojas	-	-	-	-	0.04-1.15
	Hojas toxicidad	-	-	-	-	> 4.5
Lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> )	Parte aérea comestible	0.20-0.21	-	-	-	-
	Parte aérea madura	6.25	-	-	-	-
	Cabeza madura	0.07	-	-	-	-
Limón ( <i>Citrus limon</i> )	Hojas	-	-	-	-	0.46
	Hojas toxicidad	-	-	-	-	2.3
Maíz ( <i>Zea mays</i> )	Muestreo foliar	-	0.45-2.00	23	-	0.10-0.90*
	Mazorcas	0.01	-	-	-	-
	Hojas + rastrojo	-	-	-	6.7	-
	Planta	-	-	-	2.8	0.20-0.30*
	Granos	0.01	0.14-2.0	-	1.0-5.14	-
	Raíces	-	-	-	-	0.360-0.70*
	Parte aérea	0.04	-	-	-	0.50-1.00*

**Tabla 4. Continuación... Concentraciones de suficiencia y toxicidad en planta de los nuevos micronutrientes para diferentes cultivos.**

Cultivo (Nombre científico)	Parte analizada	Co	Ni	Se	Si	Na
		----- mg kg <sup>-1</sup> -----			----- g kg <sup>-1</sup> -----	
Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> )	Frutos	0.003	-	-	-	0.043
	Hojas	-	-	-	-	1.61-3
	Hojas toxicidad	-	-	-	-	2.5-5.75
	Raíces activas de 6 a 12 meses	-	-	-	-	2.3-3.5
	Raíces activas de 6 a 12 meses toxicidad	-	-	-	-	6.67
Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	Tubérculos maduros	0.06-2.00	0.08-0.37	-	-	-
Peral ( <i>Pyrus communis</i> )	Frutos maduros	0.18	1.3	-	-	-
Pomelo ( <i>Citrus paradisi</i> )	Hojas de 4 a 12 meses sin fruto	-	-	-	-	1.38-1.61
	Hojas , toxicidas	-	-	-	-	2.76-4.83
Poroto ( <i>Phaseolus spp.</i> )	Planta	-	-	5	0.45	-
	Parte aérea	-	-	-	-	0.2-0.3
	Raíz	-	-	-	-	0.3-0.7
	Granos	0.10	0.59	-	-	-
	Chaucha	0.02-0.26	-	-	-	-
	Brotos superiores	1.12	-	-	-	-
	Hojas	-	-	-	-	0.2
	Hojas, toxicidad	-	-	-	-	> 0.4
Rye grass ( <i>Lolium multiflorum</i> )	Parte aérea madura	0.07	-	-	-	-
	Parte aérea prefloración	0.03-0.07	-	-	-	-
Soja ( <i>Glycine max</i> )	Brotos superiores	0.12	-	-	-	-
	Granos	0.20	3.9	-	-	-
	Muestreo foliar	-	-	-	-	1.40-1.70*
	Parte Aérea	0.12	-	-	-	0.7-1.70*
Sorgo ( <i>Sorghum vulgare</i> )	Parte aérea toxicidad	-	-	130	-	-
Tabaco ( <i>Nicotiana tabacum</i> )	Hojas	-	-	-	-	0.20-0.50* a 1.74-3.20
	Tallo	-	-	-	-	0.50-1.20* a 1.2-3.30
	Raíz	-	-	-	-	0.80-1.70* a 1.2-2.80
	Parte aérea	-	-	-	-	2.90-3.30*
	Raíz	-	-	-	-	2.50-4.20*
	Muestreo foliar	-	-	-	-	2.20-2.60*
Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	Frutos	0.005-0.25	0.01-0.15	-	-	-
	Brote superiores	4	-	-	-	0.13-4.7
	Hojas toxicidad	-	-	191	-	3.8-34.5
Trébol blanco ( <i>Trifolium repens</i> )	Parte aérea madura	4.6	-	-	-	-
	Parte aérea floración	0.17-0.20	-	-	-	-
Trébol rojo ( <i>Trifolium pratense</i> )	Parte aérea maduros	0.19	1.9	-	-	-
	Parte aérea floración	0.13-0.21	-	-	-	-
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> )	Hojas inmaduras	0.13-1.40	-	-	-	-
	Hojas tóxicidad	-	14-46	-	-	17
	Granos	0.01	0.35-4.0	-	-	-
	Parte aérea forrajera	0.14	-	< 15	-	-
	Parte aérea prefloración	0.03	-	-	-	-
	Parte aérea toxicidad	-	-	450-1350	-	-
Vicia ( <i>Vicia spp.</i> )*	Parte aérea en plena floración	0.13	-	-	-	-

\* Ortega (inédito).

**Tabla 5. Síntomas de deficiencia y toxicidad de Co, Ni, Se, Si y Na (Chapman, 1966; Marschner, 1986; Malavolta, 1994; Malavolta et al., 1997; Ferreira et al., 2001; Valdiviezo Freire et al., 2005).**

Elemento	Deficiencia	Toxicidad
Co	<b>Leguminosas:</b> Deficiencia de N y/o poca nodulación. Deformidad de flores de mango.	Hojas con clorosis internerval, cloróticas enteras, después se secan y necrosan (deficiencia de Fe y Mn). Puntas de las raíces dañadas.
Ni	<b>Soja:</b> Necrosis en la punta de los folíolos (acumulación de urea 25 g kg <sup>-1</sup> ). <b>Centeno, trigo y avena:</b> Acumulación de urea en las hojas, deficiencia de N y atraso en la maduración. <b>Nuez Pecan:</b> Punta de las hojas nuevas quedan redondeados y con puntos oscuros y el limbo se encorva hacia abajo. ("oreja de ratón") (acumulación de urea). <b>Tomate:</b> Clorosis de hojas jóvenes y necrosis de meristemas.	Disminución del crecimiento de parte aérea y raíces. Deformaciones de varias parte de las plantas y manchas en hojas y frutos. <b>Dicotiledóneas:</b> Clorosis internerval parecida a la deficiencia de Fe/Mn <b>Gramíneas:</b> Clorosis a lo largo de las nervaduras, pudiendo toda la hoja quedar blanquecida y mostrar necrosis en los márgenes. Raíces pardas y cortas.
Se	-	Atraso en el crecimiento, disminución en el tamaño, clorosis blanca en los márgenes de las hojas. <b>Forrajeras:</b> Huelen a ajo.
Si	<b>Tomate y pepino:</b> Después de floración hay crecimiento retardado, malformación en hojas nuevas, clorosis internerval de las hojas maduras, polinización despereja. Las hojas y la la planta se marchitan con tasas transpiratorias altas. <b>Arroz:</b> Menor resistencia a enfermedades y vuelco, menor producción y crecimiento vegetativo. Necrosis en hojas maduras y marchitamiento de la planta. <b>Caña de azúcar:</b> Menor concentración de azúcar y manchas pardas en las hojas ("freckling") y en las partes más iluminadas del limbo hay manchas color plata (tal vez por exceso de Mn), senescencia prematura y escasa bortación.	-
Na	<b>Atriplez vesicaria (halófito chenopodiaceae):</b> Hojas cloróticas y después muestran manchas necróticas en las puntas y a lo largo de los márgenes; el crecimiento cesa y las plantas mueren. Clorosis leve por menor contenido de clorofila en algunas plantas C4.	Manchas necróticas en los márgenes, puntas o zonas internervales de las hojas.

**Tabla 6. Interacción de nutrimentos en la zona radical y dentro de la planta (Kabata-Pendías y Pendías, 1985; Marschner, 1986; Malavolta, 1994; Malavolta et al., 1997; Ortega, 2002).**

		En la rizósfera																		
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	B	Mo	Mn	Fe	Cl	Co	Ni	Se	Si	Na
Dentro de la planta	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				S	S	S		S	S		S	S	S	A					
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			S	A				A	+/-								A		
	P					A			A	A	A	S			A			A	A	+/-
	K						A													
	Ca							A		A	A	A			A	A		A	A	
	Mg									A				S						
	S												A			A			A	
	Cu	+/-		+/-		+/-					A		A	A	A			A		
	Zn			A		+/-	+/-			A				A	A			A		
	B	+/-		+/-	A	A	A													+/-
	Mo	S		+/-	A				A	A	A	+/-			A	A				
	Mn			+/-	A	+/-	A			+/-	A	+/-	+/-		A			A	A	A
	Fe	S		+/-		A			+/-	A	A	+/-	A	A			A	+/-		A
	Cl																			
	Co					A									A	A				
	Ni			A						+/-	+/-				PA			R		
Se								R	A	A				A						
Si											+/-	S	+/-							
Na					R															

S = Sinergismo; A = Antagonismo; R = Reemplazo; +/- = Sinergismo/antagonismo; PA = Posible antagonismo.



**Tabla 7. Principales fuentes de micronutrientes (Malavolta, 1994; UC SAREP 2003).**

Elemento	Producto	Fórmula química	Concentración (%)
Co	Cloruro de cobalto	CoCl <sub>2</sub> •2H <sub>2</sub> O	35
	Sulfato de cobalto	CoSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	22
Na	Cloruro de sodio	NaCl	39
	Salitre de Chile	NaNO <sub>3</sub>	26
	Salitre potásico	NaNO <sub>3</sub> •KNO <sub>3</sub>	18
Ni	Sulfato de níquel	NiSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	20
Se	Seleniato de sodio	Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>	25
Si	Termofosfato de magnesio o magnesiano	-	25 SiO <sub>2</sub>
	Silicato de potasio	K <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	11.65
	Silicato de sodio	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	16.4-17.8(6% Na)

**Tabla 8. Tenores internacionales de micronutrientes en los fertilizantes, enmiendas y abonos orgánicos (Adriano, 1986; Malavolta, 1994; Orlando Filho et al. en Malavolta, 1994).**

Fuente		Co	Ni	Se	Si	Na	
		mg kg <sup>-1</sup>			%		
Fertilizantes y enmiendas	Ácido fosfórico	-	0-18	-	-	-	
	Cal	1-2	10-70	-	-	-	
	Dolomita	5	1-5	-	-	-	
	Cloruro de potasio	8-9	< 1	-	-	-	
	Fosfato diamónico	1.6-11	-	0.1-0.5	-	-	
	Fosfato monoamónico	1.6-3.1	-	0.1-0.6	-	-	
	Fosfoyeso	2	2	-	-	-	
	Nitrato de amonio	9	34	-	-	18	
	Nitrato de calcio	7-10	19-27	-	-	-	
	Nitrato de potasio	-	5	-	-	-	
	Nitrato de sodio	2-7	0.1	-	-	26	
	Nitrocalcio	5	30	-	-	-	
	Roca fosfórica	6-104	1-61	0.2-11.0	-	-	
	Salitre potásico	5	5	-	-	-	
	Silicato de calcio	5	200	-	8.16	-	
	Sulfato de amonio	0-110	6-32	-	-	-	
	Sulfato de potasio	6-8	0-5	-	-	-	
	Superfosfato simple	0-13	0-38	-	-	-	
	Superfosfato triple	1-4	24	0.5-13.8	-	-	
	Urea	0-5	-	-	-	-	
Abonos orgánicos	Cama de Pollo	2.0	-	0.38	-	-	
	Estiércol de ganado	5.9	29	2.4	-	-	
	Estiércol de vicuña*	-	-	-	-	0.27	
	Torta de filtro de caña de azúcar	1.4	-	-	6.66	-	
	Barros cloacales	EE.UU.	9.6	235	311	-	-
		Reino Unido	24	510	-	-	-
		Suecia	15	121	-	-	-
Canadá		19	380	-	-	-	
Nueva Zelanda		21	350	-	-	-	

\*Ortega, (inédito).

## Bibliografía

- Arnon, D. I., y P. R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* 14(2):371–375.
- Brown, P.H., R.M. Welch, y E.E. Cary. 1987. Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol.* 85:801-803.
- Brownell, P.F. 1965. Sodium as an essential micronutrient for a higher plants (*Atriplex vesicaria*). *Plant Physiol.* Lancaster, 40, 460.
- Chapman, H. 1966. Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. University of California Division of Agricultural Sciences. USA. 793 p.
- Delwiche C.C., C.M. Johnson, y H.M. Peisenauer. 1961. Influence of cobalt on nitrogen fixation by *Medicago*. *Plant Physiol.* 36(1):73.
- Epstein, E. 1999. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol Plant Mol. Biol.* 50:641-664.
- Eskew, D.L., R.M. Welch, y E.E. Cary. 1983 Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly for all higher plants. *Science.* 222:621-623.
- Eskew D.L., R.M. Welch, y E.E. Cary. 1984. Nickel in higher plants: Further evidence for an essential role. *Plant Physiology.* 76:691-693.
- FAO. 2005. Plant Nutrition. Consulta Feb 2006 en: <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/publicat/faobul4/faobul4/b402.htm>.
- Ferreira, M.E., M.C. Pessôa da Cruz, B. Van Raij, C.A. de Abreu. 2001. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Ed. CNPq, FAPESP, POTAFOS. Jaboticabal (SP), Brasil. 600 p.
- Francelli, A. 2005. Micronutrientes na fisiología de plantas e sua importância na redução de enfermidades. *Actas de la Primera Jornada Nacional de Micronutrientes: Diagnóstico y tecnología de fertilización.* La Plata, Argentina
- Hernández Gil, R. 2002. Nutrición Mineral de las Plantas. *LibroBotanicaOn Line.* Ed. Fisiología Vegetal, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes - Mérida – Venezuela consultado en Marzo 2002 en <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>
- Kabata-Pendías, A., y H. Pendías. 1985. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc. Boca Ratón. 315 p.
- Malavolta, E., y M.F. Moraes. 2005. Orelha de rato. Informe Laboratorio de Nutrição Mineral de Plantas, CENA –USP. Piracicaba, Brasil. 2 p.
- Malavolta, E., G.C. Vitti, y S.A. de Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Ed. POTAFOS, 2<sup>da</sup> ed., rev. e actual. Piracicaba, Brasil. 319 p.
- Malavolta, E. 1994. Fertilizantes e seu impacto ambiental: Micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. Ed. ProduQuímica. São Paulo, Brasil. 153 p.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Ed. Academic Press. Cambridge. 674 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Ed. Academic Press, 2<sup>da</sup>. Ed. Cambridge. 889 p.
- Mengel, K., y E. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. Ed. Instituto Internacional del Potasio. 4<sup>ta</sup>. Ed y 1<sup>era</sup> en español. Suiza. 607 p.
- Ortega, A. 2002. Interacción entre nutrimentos en suelo y planta en DE SIMONE, M & V FAILDE DE CALVO (eds). 2002. El cultivo del poroto en la República Argentina. INTA. Salta. Argentina. 308 p.
- Ratto, S. 2005. Los microelementos en el sistema productivo. *Actas de la Primera Jornada Nacional de Micronutrientes: Diagnóstico y tecnología de fertilización.* La Plata, Argentina
- Sarasola, A., y M.A.R. de Sarasola. 1975. Fitopatología Curso Moderno. Tomo IV. Fisiogénicas y Prácticas en Fitopatología. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires. 285 p.
- UC SAREP. 2003. Sustainable Agriculture Research and Education Program, University of California, USDA National Organic Program. National Organic Standards Board Technical Advisory Panel (NOSB TAP) Review. Potassium Silicate for use in crop production. Consulta Marzo 2006 en: <http://www.ams.usda.gov/nop/NationalList/PotassiumSilicateTAP1.pdf>
- USDA. 2001. Agricultural Resources and Environmental Indicators, chapter 4.4, 49 p. Consulta Febrero 2006 en: [http://www.ers.usda.gov/publications/arei/ah722/arei4\\_4/AREI4\\_4nutrientmgmt.pdf](http://www.ers.usda.gov/publications/arei/ah722/arei4_4/AREI4_4nutrientmgmt.pdf)
- Valdiviezo Freire, E., M. Sandoval Villa, R. Carrillo González, G. Alcántar González, y J. A. Santizo Rincón. 2005. Absorción y transporte de cadmio y níquel en tomate. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
- Vázquez, Mabel (ed.). 2006. Micronutrientes en la agricultura: Diagnóstico y fertilización en Argentina, la experiencia brasilera. Ed. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires. 207 p.
- Wen, T.N., C. Li, y C.S. Chen. 1988. Ubiquity of selenium containing RNA in plants. *Plant Science.* 57:185-193.
- Wood, B.W., C.C. Reilly, y A.P. Nyezeper. 2004a. Mouse-ear of pecan: A nickel deficiency. *Hort. Science,* 39(6):1238-1242.
- Wood, B.W., C.C. Reilly, y A.P. Nyezeper. 2004b. Mouse-ear of pecan: I. Symptomatology and occurrence. *Hort. Science,* 39(1):87-94.
- Wood, B.W., C.C. Reilly, y A.P. Nyezeper. 2004c. Mouse-ear of pecan: II. Influence of nutrient applications. *Hort. Science,* 39(1):95-100.
- Wood, B.W., R. Chaney, y M. Crawford. 2006. Correcting micronutrient deficiency using metal hyperaccumulators: *Allyssum* biomass as a product for nickel deficiency correction. *Hort. Science,* 41(5):1231-1234. ❁

## Cursos y Simposios

- Herramientas de teledetección y SIG en el estudio del balance de carbono en los agroecosistemas**

**Organiza** : EPG. FAUBA  
**Lugar** : Buenos Aires, Argentina  
**Fecha** : Octubre 20, 2012  
: Noviembre 2-3, 2012  
**Información** : EPG. FAUBA  
cursos@agro.uba.ar  
www.agro.uba.ar
- Reunión Anual de ASA-CSSA-SSSA - "Visiones para un Planeta Sustentable"**

**Organiza** : ASA-CSSA-SSSA  
**Lugar** : Ohio, EE.UU  
**Fecha** : Octubre 21-24, 2012  
**Información** : ASA-CSSA-SSSA  
Inavis@sciencesocieties.org  
www.acsmeetings.org
- Jornada de Agricultura de Precisión**

**Organiza** : CEI INTA Barrow  
**Lugar** : Buenos Aires, Argentina  
**Fecha** : Octubre 25, 2012  
**Información** : CEI INTA Barrow  
fross@correo.inta.gov.ar  
www.inta.gov.ar/barrow
- III Reunión Internacional de Riego**

**Organiza** : EEA INTA Manfredi  
**Lugar** : Córdoba, Argentina  
**Fecha** : Octubre 30-31, 2012  
**Información** : EEA INTA Manfredi  
riegomanfredi@manfredi.inta.gov.ar  
www.inta.gov.ar
- II Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas**

**Organiza** : Grupo de Desarrollo de Riego (GDR), la Facultad de Agronomía, el INIA y FONTAGRO  
**Lugar** : Salto, Uruguay  
**Fecha** : Noviembre, 6-8, 2012  
**Información** : Grupo de Desarrollo de Riego  
grageni@gmail.com  
www.seminarioriego.com.uy
- VI Jornadas de Actualización en Riego y Fertilización**

**Organiza** : Centro Regional Andino INA  
**Lugar** : Mendoza, Argentina  
**Fecha** : Noviembre, 7-9, 2012  
**Información** : Centro Regional Andino INA  
consulta@riegoyfertilizacion.com  
www.riegoyfertilizacion.com
- VI Congreso Nacional de la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo**

**Organiza** : Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo - SBCS  
**Lugar** : Sucre, Bolivia  
**Fecha** : Noviembre 8-10, 2012  
**Información** : SBCS  
sextocongresosuelos@hotmail.com  
www.sbcs.com.bo
- XX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo**

**Organiza** : IUSS  
**Lugar** : Jeju, Corea  
**Fecha** : Junio 8-13, 2014  
**Información** : IUSS  
Telf.: (44) 01224 498200  
www.iuss.org



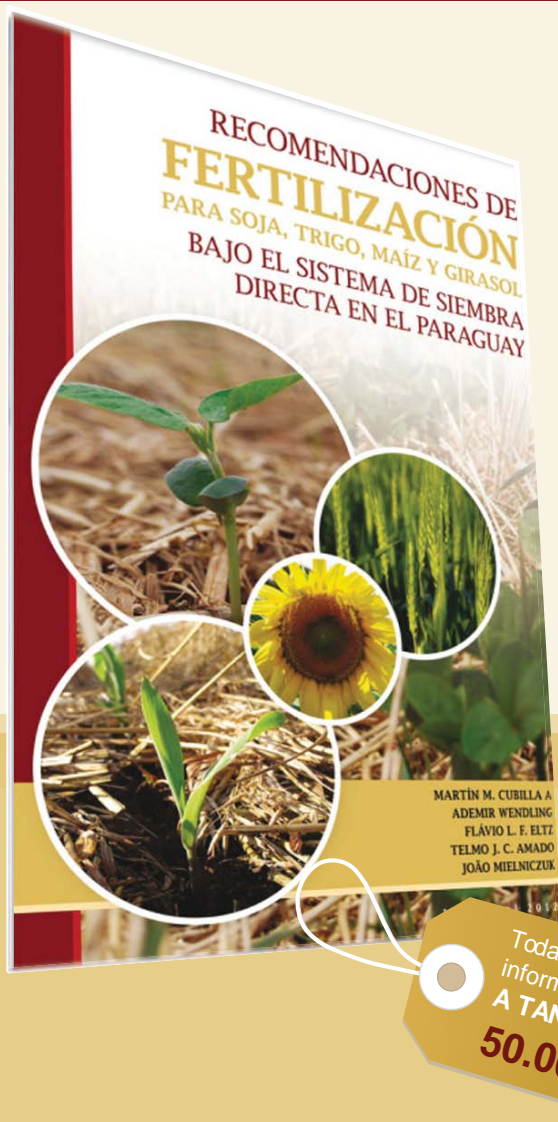


## Publicaciones Disponibles

Titulo de la Publicación	Costo (U\$S)	Costo (\$ arg.)
<b>Simposio Fertilidad 2011.</b> La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de Producción. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2011.	24.00	100.00
<b>Manual de Manejo del Cultivo de Soja.</b> Aborda temáticas de fenología, manejo, nutrición y fertilidad, malezas, enfermedades y plagas del cultivo.	20.00	80.00
<b>Simposio Fertilidad 2009.</b> Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2009.	16.00	60.00
<b>Simposio Fertilidad 2007.</b> Bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2007.	8.00	30.00
<b>Como se Desarrolla una Planta de Soja.</b> Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	6.00	25.00
<b>Como se Desarrolla una Planta de Maíz.</b> Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	6.00	25.00
<b>Síntomas de Deficiencias Nutricionales de Trigo, Maíz y Soja.</b> Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	6.00	25.00
<b>Simposio Fertilidad 2005.</b> Nutrición, Producción y Ambiente. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Abril de 2005.	4.00	15.00
<b>Simposio Fertilidad 2004.</b> Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Abril de 2004.	4.00	15.00
<b>Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina.</b> Actas del Simposio efectuado en Rosario en Mayo de 2003.	4.00	15.00
<b>Fertilidad 2002.</b> Trabajos presentados en la Cuarta Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Rosario en Mayo de 2002.	2.00	8.00
<b>Fertilidad 2001.</b> Trabajos presentados en la Tercera Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Julio de 2001.	2.00	8.00
<b>Manual Internacional de Fertilidad de Suelos.</b> Publicación didáctica sobre el uso y el manejo de suelos y fertilizantes.	15.00	60.00
<b>Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos.</b> Cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo.	5.00	20.00
<b>Balance para el Éxito.</b> Trifolios con información de manejo nutricional de cultivos. Disponibles: Alfalfa, Trigo, Maíz, Soja, Sorgo granífero, Algodón. El precio es por cada uno.	0.50	2.00
<b>Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en <a href="http://lacs.ipni.net">http://lacs.ipni.net</a></b>		

**Consulte la versión completa de Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica en su versión digital en: <http://lacs.ipni.net>**

# NUEVA PUBLICACIÓN DE FERTILIZACIÓN PARA PARAGUAY



Un libro con una excelente y didáctica síntesis de numerosos trabajos realizados por grupos de destacados investigadores introduciendo mejores prácticas de manejo de la nutrición de cultivos bajo siembra directa en Paraguay y que permiten realizar recomendaciones preliminares de la fertilización química de N, P y K para soja, trigo, maíz y girasol, cultivados bajo el SSD, para nuestras realidades edafoclimáticas.

- Recomendaciones actualizadas de dosis de fertilizantes bajo el SSD.
- Pautas de fertilización para los sistemas de producción de la región Oriental, con rigurosa base científica.
- Información y conocimientos que definen prácticas de manejo de suelos para una mayor eficiencia y efectividad de uso de los nutrientes disponibles.

El libro será distribuido a partir de septiembre en las Universidades y Cooperativas de todo el país, en Centros de Investigaciones (IPTA, CRIA, CETAPAR), como también estará disponible en la CAPECO para su venta.

Para más detalles contactar con:

**Ing. Luis E. Cubilla**

Teléfono : (021) 1208 855

E-mail : [mmcubilla@gmail.com](mailto:mmcubilla@gmail.com)

[luisclubi1@gmail.com](mailto:luisclubi1@gmail.com)

## Forma de pago de las publicaciones

### Argentina

- Giro postal o telegráfico a través de Correo Argentino - Los datos para realizar su envío son los siguientes:  
Sra. Laura Nélide Pisauri - DNI: 17.278.707 • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires, Argentina  
Agencia de correos de destino: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina
- Depósito bancario a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Sucursal Olivos, Cta. Cte. Nº 3856/4 053/5
- Transferencia bancaria a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Sucursal Olivos, Cta. Cte. Nº 3856/4 053/5, CBU 0070053520000003856451 CUIT 30-70175611-4

### Otros países

- Envío de dinero a través de Western Union - Los datos para realizar su envío son los siguientes:  
Sra. Laura Nélide Pisauri - DNI: 17.278.707 • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires, Argentina  
Agencia de correos de destino: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina

Solicitamos nos haga saber por teléfono, fax o correo electrónico, la opción elegida y nos envíe los datos para acreditar su pago (Nº de giro y fecha, datos de depósito o transferencia bancaria).

*Para conocer los gastos de envío y cualquier otra consulta de publicaciones  
por favor enviar un correo electrónico a [Lpisauri@ipni.net](mailto:Lpisauri@ipni.net)*