

Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica

IAH 6 - Junio 2012

CONTENIDO

Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos y el balance de nutrientes	2
Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina	7
Interpretación de la conductividad eléctrica aparente para la delimitación de zonas de manejo en el sudeste bonaerense	15
Vicia y avena como cultivos de cobertura en maíz	20
Fósforo en la monocultura sojera: efecto de la dosis, forma y momento de aplicación sobre el balance nutricional	23
Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego	27
Reporte de Investigación Reciente	37
Cursos y Simposios	38
Publicaciones Disponibles	39



Editores: Dr. Fernando O. García
Dr. Raúl Jaramillo
Dr. Armando Tasistro

International Plant Nutrition Institute (IPNI)

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: atasistro@ipni.net • <http://mca.ipni.net>

En este número

- Estrategias de fertilización en una secuencia agrícola
- Extracción y balance de nutrientes en Argentina
- Conductividad eléctrica aparente en agricultura de precisión
- Vicia y avena como cultivos de cobertura en maíz
- Fósforo en la monocultura sojera
- Criterios modernos para evaluar la calidad del agua para riego

Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos y el balance de nutrientes

Gustavo N. Ferraris¹, Mirta Toribio², Ricardo Falconi³ y Lucrecia Couretot¹

Introducción

A nivel productivo, las deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) no ocurren de manera aislada sino que se combinan de diversas maneras, por lo que es necesario evaluar integralmente la respuesta a la fertilización y conocer su efecto sobre la fertilidad de los suelos. Con el propósito de estudiar la evolución en el tiempo de los rendimientos, el balance de nutrientes y las propiedades químicas del suelo, se diseñó un ensayo de estrategias de fertilización en la secuencia maíz-soja-trigo/soja-cebada/soja. El proyecto se inició en la campaña 2006/07, siendo maíz el primero de los cultivos implantados, prosiguiendo con soja en el ciclo 2007/08, trigo/soja en 2008/09 y cebada/soja en 2009/10. Información de los primeros años del ensayo están disponibles en Ferraris et al. (2010).

En la campaña 2010/11 se inició una nueva secuencia de la rotación, con el cultivo de maíz. Los objetivos planteados durante el quinto año fueron:

- 1) Evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento de maíz.
- 2) Determinar la evolución de los niveles de N, P, S, materia orgánica (MO) y pH de suelo de acuerdo con las estrategias de fertilización y los rendimientos obtenidos en los cultivos previos.
- 3) Cuantificar y valorizar el balance de nutrientes luego de cinco campañas y siete cultivos.
- 4) Realizar una evaluación económica integrando toda la secuencia.

Materiales y métodos

El ensayo es conducido sobre un suelo serie Rojas, Argiudol típico, Clase de uso I de muy buena productividad, en la localidad de Arribeños, partido de General Arenales, provincia de Buenos Aires, Argentina. Se planteó un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones, en una rotación maíz-soja-trigo/soja-cebada/soja. Los tratamientos de fertilización se repiten todos los años sobre las mismas parcelas. En el ciclo 2010/11, el cultivar de maíz sembrado fue Nidera AX 886 MG. Los fertilizantes fueron aplicados a la siembra en las dosis que se presentan en la **Tabla 1**. Como fuentes fertilizantes se utilizaron urea granulada (46-0-0), superfosfato triple de calcio (0-20-0) y sulfato de calcio (0-0-0-18S).

Determinaciones realizadas

En el suelo

Previo a la siembra se tomaron muestras de suelo a 0-20 cm. De cada parcela, se extrajo una muestra compuesta, y se determinó el pH y los contenidos de MO, P extractable (Bray I), N total, N-nitratos (N-NO₃) y S-sulfatos (S-SO₄).

En el cultivo

A la cosecha se evaluaron el rendimiento y el contenido de N, P y S en el grano. Con los datos de rendimiento, concentración de nutrientes en el grano y dosis aplicada de los mismos se realizó un balance de nutrientes.

Tabla 1. Tratamientos y dosis (kg ha⁻¹) de N, P y S aplicados en maíz. Estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos. Campaña 2010/11, quinto año de ensayos. Arribeños, General Arenales, Buenos Aires.

Tratamiento	Criterio de fertilización	Rendimiento objetivo	N	P	S
			----- kg ha ⁻¹ -----		
T1	Testigo sin fertilización	No especificado	0	0	0
T2	Tecnología uso actual	No especificado	46	16	0
T3	Reposición PS Rendimiento objetivo medio	10 000 kg ha ⁻¹	94	30	18
T4	Reposición PS Rendimiento objetivo alto	12 000 kg ha ⁻¹	114	30	18
T5	Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	12 000 kg ha ⁻¹	114	46	18

¹ INTA Pergamino. Correo electrónico: nferraris@pergamino.inta.gov.ar

² Profertil S.A. Investigación y Desarrollo.

³ El Ceibo Cereales S.A.

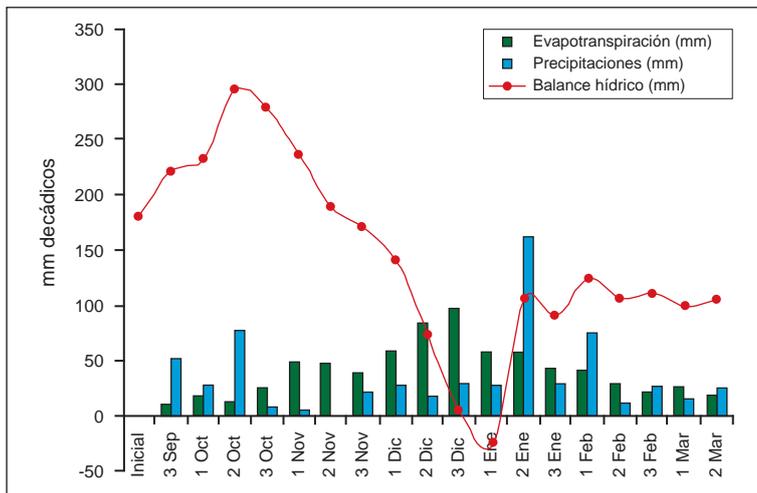


Figura 1. Balance hídrico por periodo decádico (mm) en el sitio experimental. Agua disponible inicial en el suelo 180 mm (200 cm profundidad). Precipitaciones en el ciclo 622 mm. Déficit de evapotranspiración 26 mm. Arribeños, Buenos Aires, Campaña 2010/11.

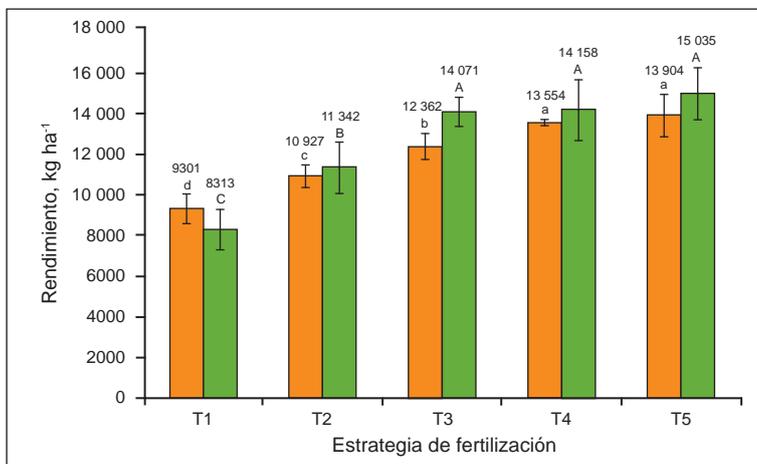


Figura 2. Rendimiento (kg ha^{-1}) de maíz bajo diferentes estrategias de fertilización para la campaña 2010/11 (columnas verdes) en comparación con el ciclo inicial 2006/07 (columnas naranjas). Ensayo de estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos. Arribeños, General Arenales, Buenos Aires. Letras minúsculas y mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para las campañas 2006/07 y 2010/11, respectivamente. Las barras verticales representan el desvío estándar de la media.

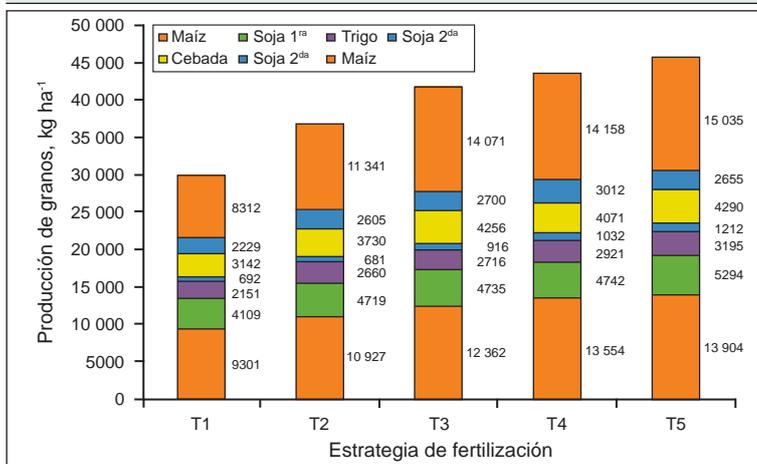


Figura 3. Producción acumulada (kg ha^{-1}) bajo diferentes estrategias de fertilización en una secuencia maíz-soja-trigo/soja-cebada/soja-maíz. Arribeños, General Arenales, Buenos Aires. Campañas 2006/07 a 2010/11.

Caracterización agroclimática

Durante el ciclo 2010/11, las precipitaciones alcanzaron valores por debajo de la demanda ambiental durante noviembre y diciembre, y fueron normales durante el resto del período. Gracias a las buenas reservas iniciales provenientes del año húmedo anterior, el cultivo sólo expresó un déficit de 26 mm (Figura 1). Por otra parte, sólo se registraron 2 días de escasa heliofanía entre 10 de diciembre y 10 de enero, las condiciones de luminosidad fueron muy favorables durante esta campaña.

Resultados y discusión

Rendimientos de maíz 2010/11

Como en campañas anteriores, las diferencias de rendimiento entre tratamientos fueron estadísticamente significativas ($P = 0.001$; $CV = 8.1\%$) (Figura 2). Los rendimientos de maíz fueron superiores en los tratamientos T3, T4 y T5 respecto a T1 y T2. Comparando los rendimientos de la presente campaña (2010/11) con el primer año de experimentación (2006/07), una campaña climáticamente favorable, se observa que los rendimientos se incrementaron en los tratamientos T3, T4, y T5 en 2010/11 respecto a 2006/07, fueron similares para ambas campañas en el caso de T2 y disminuyeron en 2010/11 respecto a 2006/07 en el caso de T1. Estas diferencias entre la campaña inicial y la de 2010/11 muestran una consistente tendencia de construcción, mantenimiento, o disminución de fertilidad, respectivamente.

La producción acumulada de la secuencia agrícola –siete cultivos en cinco campañas– muestra una tendencia de ampliar la brecha entre tratamientos conforme el paso del tiempo. Así, mientras el testigo acumuló $29\,937 \text{ kg grano ha}^{-1}$, el tratamiento de reconstrucción llegó a $45\,585 \text{ kg ha}^{-1}$, siendo la brecha de rendimiento del 52.2% (Figura 3).

El nivel nutricional de cada tratamiento se reflejó en la concentración de N y P en grano, aunque no en el caso de S (Tabla 2). La concentración de N en grano de maíz fue 36.4% superior en T5 con relación a T1, mientras que esa misma comparación para P evidenció un incremento de 41.2%. El hecho que las diferencias de concentración fueron de una magnitud similar al incremento en los rendimientos, estaría reflejando una severa deficiencia de N y P en T1 y T2, más que un consumo de lujo en los tratamientos de mayor fertilización. La concentración de S en grano no se vio afectada por los tratamientos y fue baja en todos los casos.

Balance de nutrientes y cambios en la disponibilidad de P en el suelo

Los diferentes tratamientos generaron balances de nutrientes negativos para N, y cercanos a la tendencia prevista para P y S (Tabla 3). Así, en P fueron deficitarios los tratamientos T1 y T2, próximos a la neutralidad T3 y

T4, y positivo en T5. Sólo el tratamiento de reconstrucción logró con su aporte superar la exportación de P del cultivo. En el caso de S, las estrategias mostraron un balance negativo en T1 y T2, y muy cercano a la neutralidad en T3, T4 y T5.

Luego de la cosecha de maíz 2010/11 y previo a la siembra de la soja 2011/12, se realizó un análisis completo de suelo por parcela, cuyos datos promedios se consignan en la Tabla 4. En este experimento, la dosis necesaria para mantener el nivel de P en suelo habría sido ligeramente sobreestimada, puesto que con rendimientos mayores a los previstos, los tratamientos T3 y T4 lograron incrementar ligeramente el nivel de P Bray original del sitio, que en 2006 alcanzaba 8.5 mg kg⁻¹ (Figura 4). Asimismo, el incremento alcanzado en T5 fue superior al propuesto. Se agregaron 16 kg de P ha⁻¹ adicionales a la dosis prevista de reposición con el objetivo de incrementar la disponibilidad de P en suelo en 2 mg kg⁻¹ año⁻¹. Luego de 5 campañas debería traducirse en un cambio desde 8.5 a 18.5 mg kg⁻¹, valor inferior al determinado actualmente (Figura 4). En línea con esta observación, sobre un grupo de experimentos

Tabla 2. Concentración de N, P y S en grano de maíz (% sobre base seca) para los diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamiento	----- Concentración en grano, % -----		
	N	P	S
T1	1.07 b*	0.17 c	0.08 b
T2	1.13 b	0.20 bc	0.09 ab
T3	1.31 a	0.23 ab	0.10 a
T4	1.34 a	0.24 a	0.10 a
T5	1.46 a	0.24 a	0.09 ab

* Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada nutriente (P < 0.05).

Tabla 3. Balance de N, P, y S para los diferentes tratamientos. Los datos de rendimiento y concentración de nutrientes en grano fueron ajustados a 13% de humedad.

Tratamiento	----- Agregado, kg ha ⁻¹ -----			----- Extracción, kg ha ⁻¹ -----			----- Balance, kg ha ⁻¹ -----		
	N	P	S	N	P	S	N	P	S
T1	0	0	0	77.3	12.4	6	-77.3	-12.4	-6
T2	46	16	0	111.3	19.5	8.4	-65.3	-3.5	-8.4
T3	94	30	18	160.7	27.6	11.9	-66.7	2.4	6.1
T4	114	30	18	164.3	29	12	-50.3	1	6
T5	114	46	18	190.9	32	12.2	-76.9	14	5.8

Tabla 4. Análisis de suelo luego de la cosecha de maíz y previo a la siembra de soja (julio 2011). Los datos son promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	Profundidad cm	MO	N total	pH	P	S-SO ₄
		----- % -----	----- mg kg ⁻¹ -----			
T1	0-20	2.62	0.131	5.98	5.20 c	8.6 c
	20-40				7.1 C	
T2	0-20	2.51	0.126	5.83	7.68 c	9.8 bc
	20-40				8.5 C	
T3	0-20	2.68	0.134	5.88	11.35 bc	13.1 a
	20-40				10.9 B	
T4	0-20	2.63	0.131	5.88	14.50 b	12.1 ab
	20-40				10.5 B	
T5	0-20	2.59	0.130	5.83	25.18 a	14.2 a
	20-40				13.1 A	

* Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada nutriente e igual profundidad (P < 0.05).

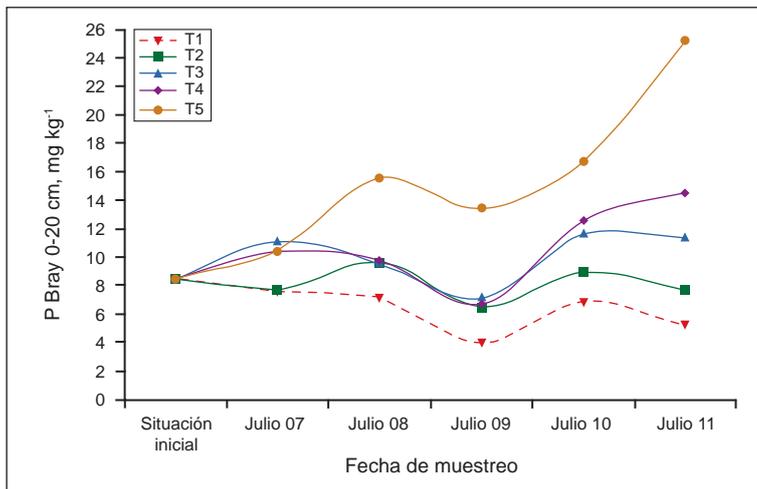


Figura 4. Evolución del P disponible en suelo (Bray-1; 0-20 cm) luego de cinco campañas y siete cultivos. Los valores presentados son promedio de cuatro repeticiones.

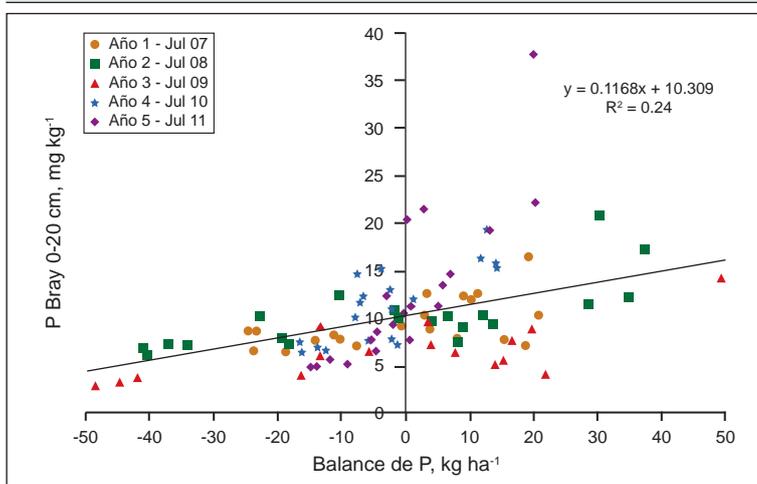


Figura 5. Relación entre el nivel de P Bray del suelo a la cosecha (mg kg^{-1} ; 0-20 cm) y el balance de P (aplicado-extraído en kg ha^{-1}) utilizando los valores provenientes de cada parcela al final de cada campaña. La inversa de la pendiente indica la cantidad de P como diferencia (aplicado-extraído) que provoca un cambio de 1 mg kg^{-1} en la disponibilidad de P en suelo (0-20 cm). Arribeños, General Arenales, Buenos Aires.

de larga duración, Mallarino y Prater (2007) postulan que la tasa de incremento de P en suelo es superior en un rango medio de disponibilidad, y que una vez alcanzado un nivel alto es necesario agregar mayores dosis de P para mantener y/o aumentar su disponibilidad en el suelo, por el pasaje permanente de P a fracciones más estables. El S también refleja un marcado contraste entre aquellos tratamientos con fertilización azufrada (T3, T4, T5) o sin ella (T1, T2). En cambio, no se observaron diferencias entre tratamientos en términos de MO, pH o N total (Tabla 4).

La relación entre el P Bray y el balance acumulado al final de cada campaña en cada parcela a lo largo del tiempo permite sugerir una medida de la tasa de cambio del nutriente en el largo plazo, cuantificar la dosis necesaria para recomponer la disponibilidad del nutriente en un nivel que se fije como objetivo, y servir

de base como criterio de recomendación. La inversa de la pendiente de esta relación sugiere la tasa de cambio. Finalizada la campaña 2010/11, la función ajustada indica que es necesario agregar $8.56 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para incrementar la disponibilidad de P en $1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 6). Lo mismo se observa si el balance es negativo: el P Bray (0-20 cm) disminuye en 1 mg kg^{-1} por cada 8.56 kg de P como extracción neta. El ajuste a través de una función única obedece a que los parámetros no diferían significativamente ($P > 0.10$) de un modelo bifuncional que separase las parcelas con balance positivo y negativo, a diferencia de lo observado por Ciampitti (2009). Según el balance de P acumulado, el rango de variación de la tasa de cambio de P Bray a lo largo del tiempo, no fue importante, de manera similar a lo observado por Messiga et al. (2010).

Para el análisis económico (Figura 6), los precios de los granos de trigo y maíz asignados son una referencia de los manejados en el norte de Buenos Aires en noviembre de 2011. Todas las estrategias de fertilización permitieron incrementar la productividad ($\text{kg grano ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Figura 6A). Este incremento se tradujo en retornos positivos a la inversión en fertilizante, que decrecieron del T2 al T5 (Figura 6B). El margen bruto del cultivo alcanza el máximo en las estrategias T3, T4 y T5 (Figura 6C), sin considerar el valor económico que tiene esta última estrategia en términos de enriquecimiento en los niveles de P y S en el suelo. La diferencia de rendimientos entre T3, T4 y T5 es importante, no obstante ello no se traduce en términos de rentabilidad debido a que el cultivo que ha expresado las mayores diferencias de rendimiento (maíz) tiene un limitado peso relativo en la rentabilidad del sistema a causa de su desfavorable relación de precios con la soja.

Consideraciones finales

Las estrategias de fertilización impactaron en los rendimientos de maíz, modificaron la concentración de N y P en grano y el balance de nutrientes en el suelo.

Las estrategias de fertilización no difirieron en MO, N total y pH luego de cinco años de evaluación, pero se registraron diferencias en P Bray (0-20 cm), y S-SO_4 (0-20 y 20-40 cm).

Los cambios en los niveles de P Bray del suelo se relacionaron con el balance de P, existiendo una correlación entre balance y nivel final de P Bray del suelo al final de cada campaña. Luego de cinco años de experimentación, la tasa de cambio fue de 1 mg kg^{-1} de

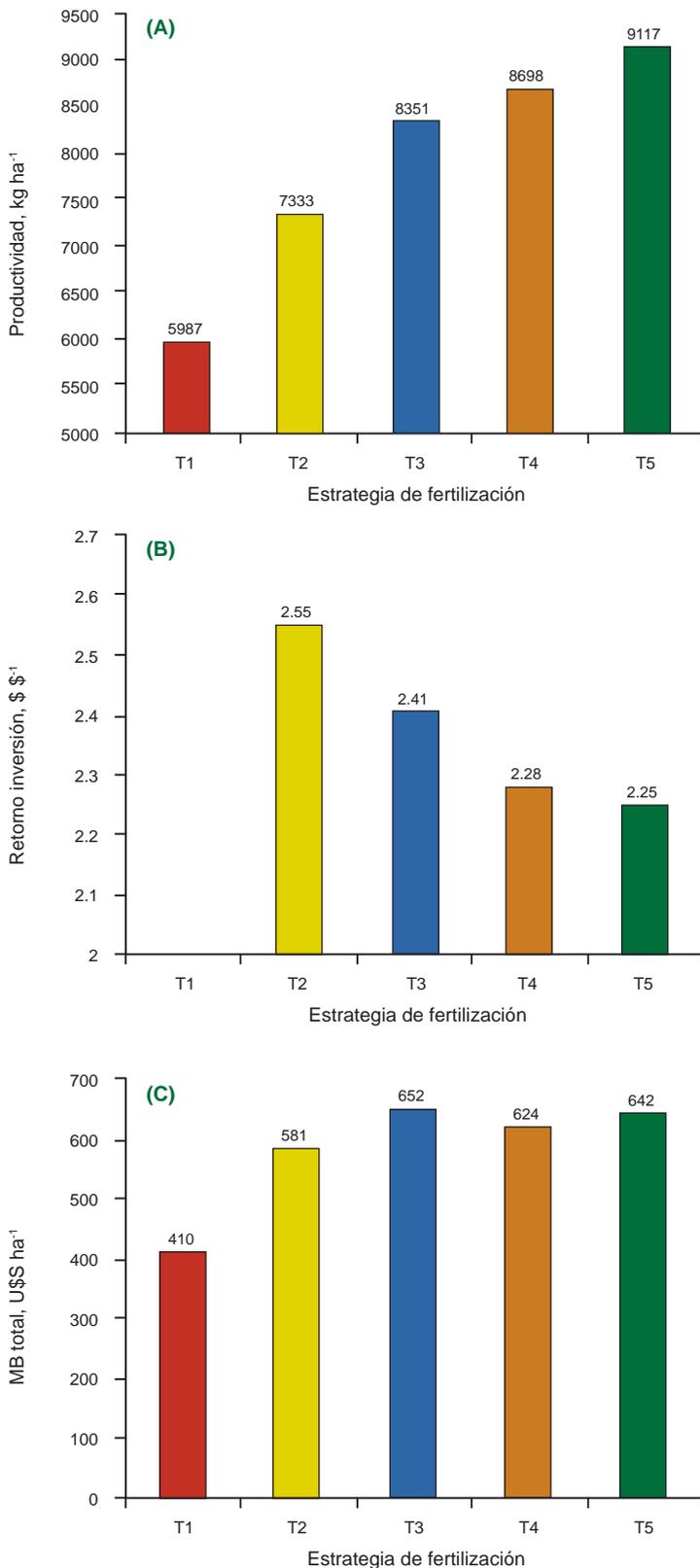


Figura 6. Análisis económico de las estrategias de fertilización: A) Productividad anual (kg ha⁻¹ año⁻¹), B) Retorno a la inversión en fertilizante (\$ obtenido \$ invertido en fertilizante⁻¹), y C) Margen Bruto (MB) global (U\$ ha⁻¹) de la rotación según estrategia de fertilización. Precios de granos utilizados: Trigo \$ 480 t⁻¹, Cebada \$ 600 t⁻¹, Maíz \$ 510 t⁻¹, y Soja \$ 1100 t⁻¹. En todos los casos están descontados gastos de comercialización. Fertilizantes: Superfosfato triple de calcio U\$ 650 t⁻¹, Urea granulada U\$ 650 t⁻¹ y Sulfato de calcio U\$ 260 t⁻¹.

P Bray (0-20 cm) por cada 8.5 kg ha⁻¹ de P como diferencia entre agregado y extracción del nutriente.

La diferencia en productividad neta entre estrategias se incrementa campaña tras campaña. Así, la diferencia entre la estrategia T5 y T1 alcanza luego de 7 cultivos en 5 años, un 52.2% a favor de T5.

El análisis económico de la rotación encontró que las estrategias de fertilización T3, T4 y T5 alcanzan los márgenes brutos más altos, y el retorno a la inversión en fertilizantes es máximo con T2, influenciado sobre todo por el precio de soja.

Las estrategias de fertilización T3, T4 y T5 permitieron alcanzar los MB más altos, mientras que el retorno a la inversión en fertilizantes fue máximo para T2, influenciado sobre todo por el precio de soja.

Bibliografía

- Bray, R., y L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci* 59:39-45.
- Ciampitti, I.A. 2009. Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. 116 p.
- Ferraris, G.N., M. Toribio, R. Falconi, y L. Couretot. 2010. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos. Comisión 3. Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Actas CD XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 31 de Mayo al 5 de Junio. Rosario. Santa Fe.
- Mallarino, A.P., y J. Prater. 2007. Corn and soybean grain yield, P removal, and soil-test responses to long-term phosphorus fertilization strategies. Proceeding 19th Annual Integrated Crop Management Conference. Ames. Iowa State University.
- Messiga, A.J., N. Ziadi, D. Plenet, L.E. Parent, y C. Morel. 2010. Long-term changes in soil phosphorus status related to P budgets under maize monoculture and mineral P fertilization. *Soil Use and Management*. 26:354–364.★

Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina

Gustavo A. Cruzate y Roberto R. Casas

Introducción

En los últimos 50 años la superficie agrícola en la Argentina se incrementó alrededor de un 50%, mientras que la producción de granos creció un 400%. Si bien nos estamos aproximando al techo de las tierras utilizables con fines agrícolas, subsisten aún brechas productivas de significancia que permitirán que la producción nacional continúe aumentando. Esta situación debería capitalizarse especialmente en los suelos de mayor calidad de la región pampeana, lo que permitiría disminuir la intensidad de uso en aquellos ubicados en ambientes frágiles.

Hasta ahora, el crecimiento de la producción se logró en base a las nuevas tecnologías, a un creciente nivel de manejo de conocimientos e información por parte de productores y técnicos, y a la capacidad productiva de las tierras. Sin embargo, la calidad natural de nuestros

suelos tiene límites, sobrepasados los cuales, la vulnerabilidad de los mismos se vuelve crítica.

Algunos parámetros “diagnóstico” sirven para ilustrar la situación descripta: el fósforo (P) extractable (P Bray) está disminuyendo a razón de 1 a 2 partes por millón (ppm o mg kg⁻¹) por año; la materia orgánica (MO) del área núcleo pampeana ha sufrido un descenso promedio de 0.5% en las últimas tres décadas, y el contenido de calcio (Ca) ha disminuido alrededor de un 50%. También se está registrando una acidificación creciente de los suelos, que se manifiesta por un descenso del pH entre media y una unidad (Casas, 2006).

Esta especie de “subsidio” que la riqueza natural de nuestros suelos otorga al usuario de la tierra y al estado, en realidad no es otra cosa que una pérdida paulatina del capital suelo. Un simple cálculo indica

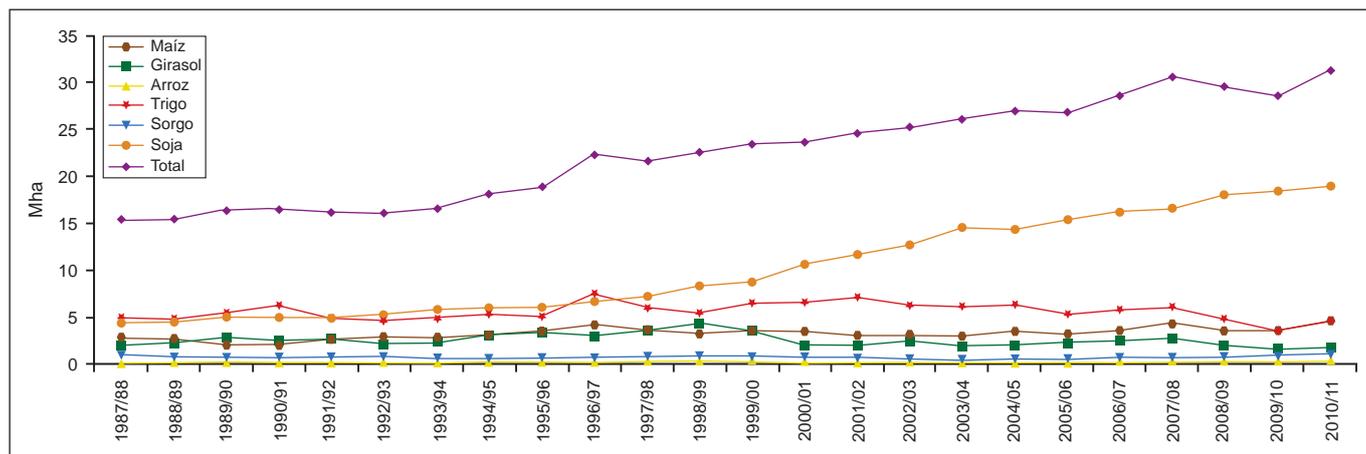


Figura 1. Evolución de la superficie sembrada de principales cultivos agrícolas. Fuente: Estimaciones agrícolas MAGyP (SIIA, 2011).

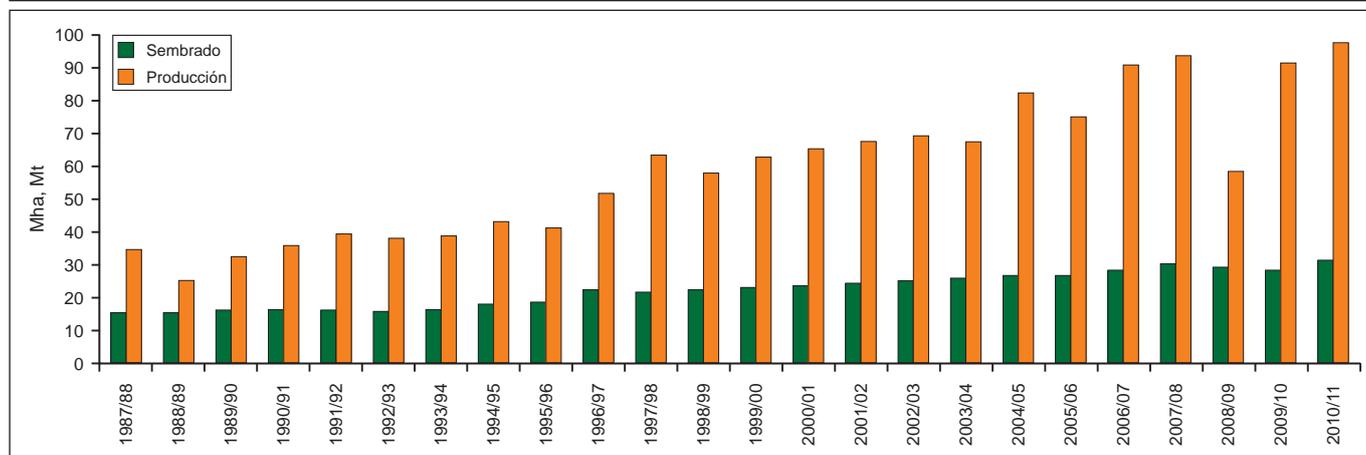


Figura 2. Superficie sembrada y producción de los principales cultivos agrícolas. Fuente: Estimaciones agrícolas MAGyP (SIIA, 2011).

¹ Instituto de Suelos, CIRN, INTA. Correo electrónico: gcruzate@cni.inta.gov.ar; rcasas@cni.inta.gov.ar

que si en los márgenes brutos de las explotaciones agropecuarias se incluyeran los costos de reposición de nutrientes extraídos por las cosechas, la rentabilidad de los cultivos sufriría variaciones en función del sistema de rotación elegido. Serviría además para demostrar la dificultad de obtener planteos sustentables tanto desde el punto de vista físico como económico, cuando la visión es estrictamente cortoplacista.

En forma simultánea al incremento de los rendimientos, la frontera agrícola se ha desplazado hacia zonas más frágiles, tradicionalmente mixtas o ganaderas, en muchos casos ocupadas por montes nativos. Al analizar la evolución de la superficie sembrada, se observa que cultivos como maíz, sorgo y arroz tienen una tendencia estable a lo largo de los años mientras que trigo y girasol han disminuido en su área sembrada, en los últimos años.

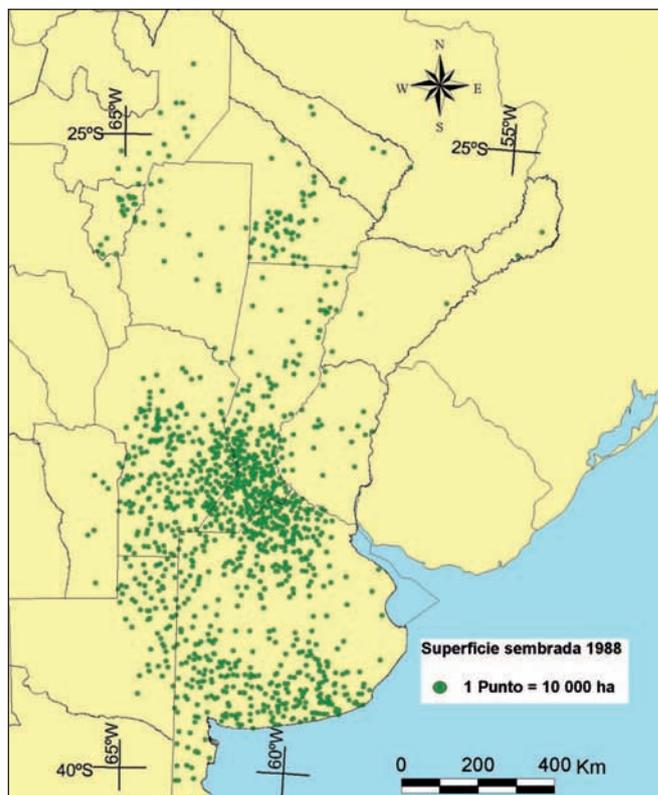
Un cultivo de mayor atractivo económico como la soja, que además posibilita su combinación con el ciclo del trigo (Casas, 2000; Díaz-Zorita et al., 2003), ha aumentado el área sembrada año tras año (Figura 1), cuadruplicando la superficie sembrada desde 1987 a 2010. Como consecuencia de la situación descrita, en los últimos 24 años se ha duplicado el área sembrada pasando de 15.4 millones de hectáreas (Mha) en la campaña 1987/99 a 31.3 Mha en la campaña 2010/11 (Mapas 1 y 2). En el mismo período, la producción se ha triplicado a base de mayores rendimientos (Figura 2).

Se registra una elevada extracción de nutrientes no repuestos en igual magnitud, que provoca un deterioro progresivo en la fertilidad de los suelos poniendo en peligro la sustentabilidad de los sistemas productivos (Casas, 2000; Martínez, 2002; Cruzate y Casas, 2003 y 2009). Fontanetto y Gambaudo (2010) señalan que en los últimos 20 años el tenor de MO de los suelos agrícolas en Santa Fe ha sufrido pérdidas del orden del 2 al 3%, implicando elevadas pérdidas de nutrientes del suelo.

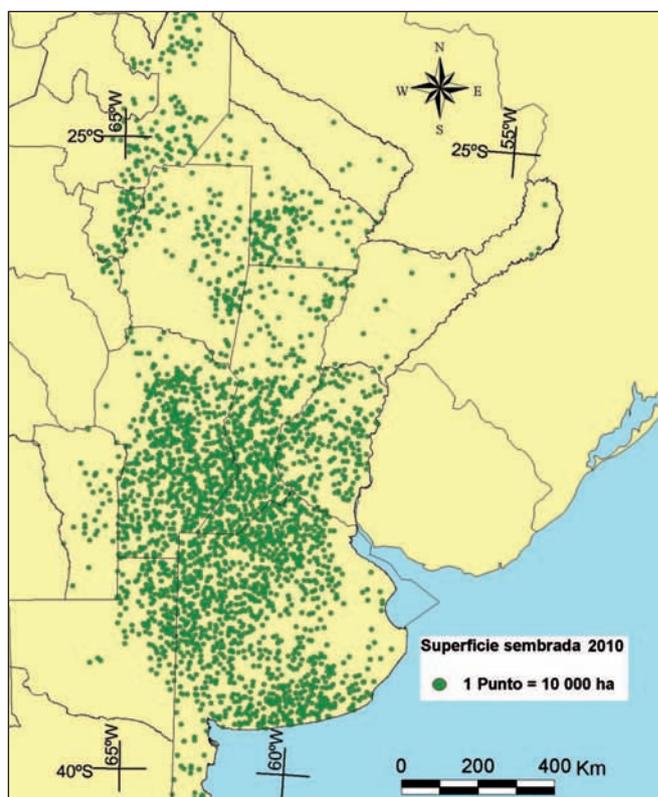
Según la Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos (CIAFA, 2009), en la campaña 2007/08 se registró un record de 3.7 millones de toneladas (Mt) de consumo de fertilizantes en función de la buena relación existente entre el precio de los granos y el de los fertilizantes (Fertilizar, 2008). En 2008/09 se observó una marcada disminución en el uso de los insumos ya que se aplicaron sólo 2.55 millones de toneladas de fertilizantes (Fertilizar, 2009). En la campaña 2010/11, el consumo aparente de fertilizantes creció hasta un nivel de 3.4 Mt (Webdelcampo, 2011; Urgente24, 2011; Noticias.terra, 2011; Infocampo, 2011).

El objetivo del presente trabajo fue:

1) Realizar una evaluación espacial de la extracción de los nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio



Mapa 1. Distribución de la superficie sembrada en Argentina. Campaña 1988/89.



Mapa 2. Distribución de la superficie sembrada en Argentina. Campaña 2010/11..

(K), azufre (S), calcio (Ca), y boro (B) en la campaña 2010/11 generando mapas de exportación de los principales cultivos.

2) Estimar los balances de estos nutrientes a nivel nacional.

3) Valorizar los principales nutrientes exportados desde el suelo.

Esta información contribuirá a advertir sobre cuáles serían las zonas de mayor relevancia en cuanto a la extracción de nutrientes y su impacto sobre la sostenibilidad de los sistemas productivos. Este trabajo constituye una actualización y ampliación del trabajo previo de Cruzate y Casas (2009).

Materiales y métodos

En base a una búsqueda bibliográfica de trabajos referidos a la extracción de nutrientes en granos, se calcularon las cantidades promedio de nutrientes exportados por los cultivos. Para la estimación de la superficie y producción por cultivo se utilizó información de la campaña agrícola 2010/2011 suministrada por el Sistema Integrado de Información Agropecuaria, Estimaciones Agrícolas del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación.

Con los datos correspondientes a la producción de soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz, que representan el 90% del área sembrada y el 94% de la producción en la República Argentina, se calculó la exportación total de nutrientes en dichos granos por departamento en las provincias productoras, referidos a la superficie total del departamento y a la superficie sembrada.

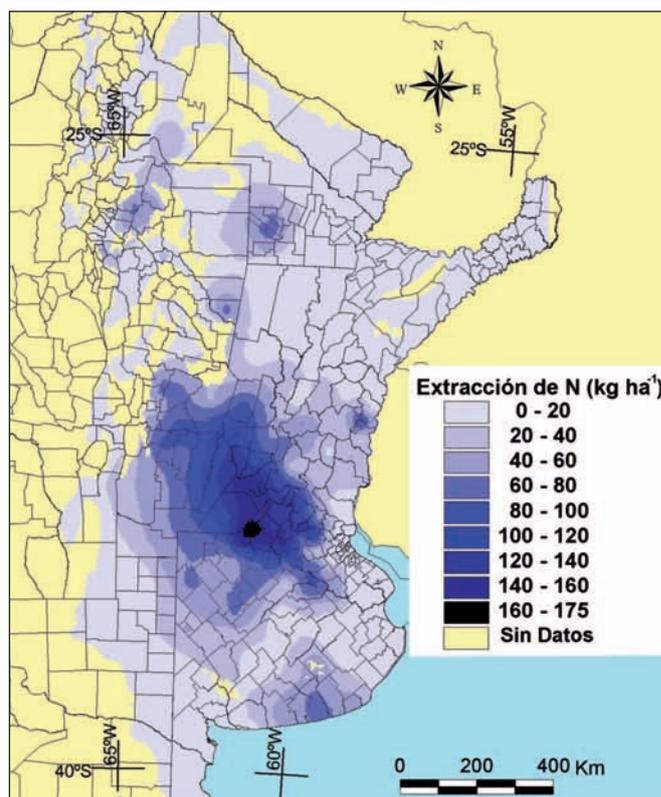
A partir de información satelital sobre uso de la tierra y el mapa de suelos a escala 1:500 000 de la República Argentina (INTA, 1990) se generó un mapa de áreas agrícolas. Toda la información se integró al superponerla con los mapas de extracción de nutrientes, mediante un Sistema de Información Geográfica para el manejo de los datos de atributos y cartográficos. Para visualizar la susceptibilidad a la degradación por pérdida de nutrientes se elaboraron mapas por interpolación de los elementos estudiados a partir de la magnitud de la extracción por hectárea en cada departamento (**Mapas 3 a 8**).

El costo económico debido a la exportación de nutrientes, se calculó con los precios de los principales fertilizantes utilizados en la República Argentina a partir del valor por unidad de elemento extraído en dólares por tonelada para enero de 2012. Se utilizaron los precios de cloruro de potasio (K), fosfato diamónico (P), urea granulada (N), sulfato de amonio (S) y carbonato de calcio (Ca) (Agromercado, 2012). No se consideró a B en este análisis, debido a la escasa disponibilidad de datos.

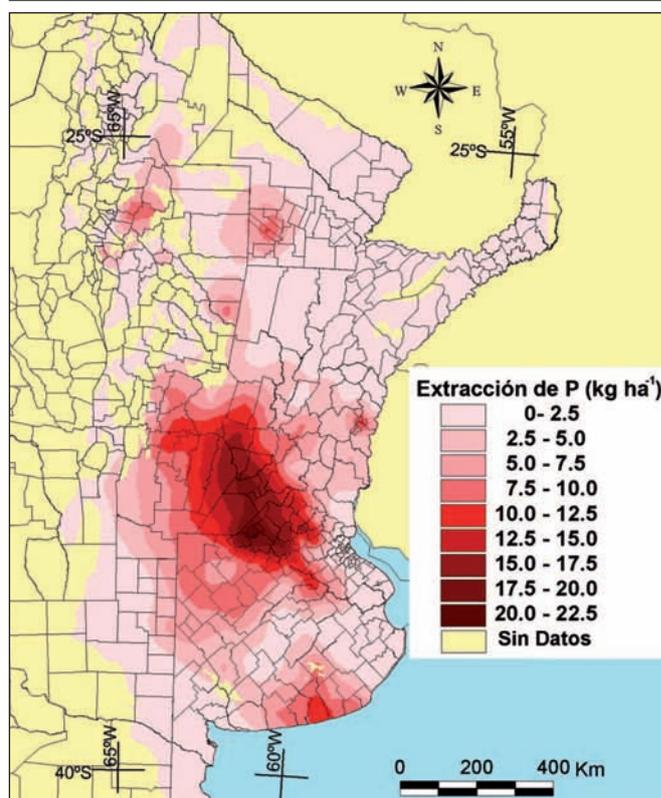
Resultados y discusión

En la **Tabla 1** se consigna la tasa de extracción promedio de nutrientes que varía en función del cultivo y del rendimiento alcanzado.

En la República Argentina, la superficie sembrada con

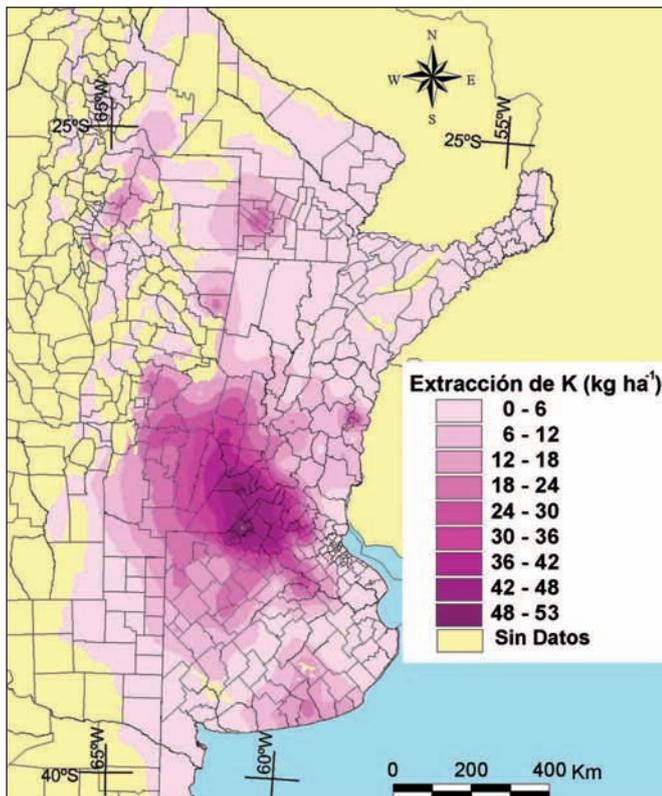


Mapa 3. Extracción de nitrógeno (N) en granos por superficie de cada departamento. Argentina. Campaña agrícola 2010/11.



Mapa 4. Extracción de fósforo (P) en granos por superficie de cada departamento. Argentina. Campaña agrícola 2010/11.

los principales cultivos en la campaña 2010/11 (soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz) se distribuye en 15 provincias (**Mapa 2**). Respecto a la campaña 2006/07, la superficie sembrada se ha incrementado en un



Mapa 5. Extracción de potasio (K) en granos por superficie de cada departamento. Argentina. Campaña agrícola 2010/11.

0.54% con 31 149 300 ha, mientras que la producción se ha incrementado un 7.6% alcanzando las 97 725 687 toneladas, lo que corrobora el aumento de rendimiento por unidad de superficie.

Con los datos de producción se calculó la cantidad de nutrientes exportados para los cultivos más importantes de la región agrícola argentina (Tabla 2). Se estimó que aproximadamente la mitad del N extraído por la soja es aportado por la fijación biológica (FBN), por lo que para el cálculo del balance, sólo se consideró un 50% de las 2 536 484 t exportadas en el grano.

La extracción total de nutrientes en relación a la campaña 2006/07 (Cruzate y Casas, 2009) se ha incrementado en un 11%. Esto es debido al incremento en la producción, consecuencia de la mayor superficie sembrada y al mayor rendimiento de los cultivos. En base a la información sobre extracción de nutrientes (Tabla 2) y de consumo de fertilizantes (Tabla 3), se realizó el balance de nutrientes para la campaña agrícola 2010/11 (Tabla 4). Este balance se define como parcial ya que incluye como entradas a los nutrientes aplicados vía fertilización y vía FBN en soja y como salida a la exportación en granos, no considerando otros posibles componentes los aportes por enmiendas

Tabla 1. Extracción promedio de nutrientes por los cultivos por tonelada de grano producido.

Cultivo	N	P	K	Ca	S	B
----- kg t ⁻¹ -----						
Soja	51.89	5.66	16.96	2.78	3.08	0.007
Girasol	22.67	4.71	6.27	1.09	1.62	0.022
Maíz	14.29	2.88	3.75	0.20	1.40	0.005
Trigo	19.06	3.74	3.87	0.39	1.50	0.007
Arroz	14.41	2.91	2.74	0.13	0.70	0.008
Sorgo	18.39	3.65	3.80	0.79	1.96	0.002

Fuentes consultadas: Cordone y Martínez, 2003; García, 2003; Gudelj et al., 2000; Ventimiglia et al., 1999; Inpofos, 1999; González y Gambaudo, 2003; IFA, 1992; Campitti y García, 2007; Fontanetto y Keller, 2011; Ferraris, 2011.

Tabla 2. Extracción de nutrientes en toneladas correspondiente a los principales cultivos en Argentina durante el ciclo agrícola 2010/11.

Cultivo	Producción	N	P	K	Ca	S	B
----- kg t ⁻¹ -----							
Soja	48 885 705	1 268 242	276 791	829 247	136 000	150 568	342
Girasol	3 669 166	83 166	17 282	23 002	3999	5944	26
Maíz	23 004 807	328 808	66 277	86 197	4509	32 276	115
Trigo	15 962 127	304 238	59 635	61 742	6193	23 943	112
Arroz	1 746 552	25 163	5077	4793	231	1219	14
Sorgo	4 457 330	81 957	16 287	16 937	3530	8714	9
Total	97 725 687	2 091 572	441 348	1 021 921	154 462	222 664	618

Tabla 3. Consumo en toneladas de fertilizantes por producto en Argentina en 2010/11. Datos estimados a partir de información de CIAFA y otras fuentes.

Fertilizante	Consumo	N	P	K	S	Ca
	t					
Cloruro de Potasio	38 857	0	0	19 351	0	0
Fosfato Diamónico y otros NP	371 982	72 537	7514	0	7440	0
Fosfato Monoamónico y otros MAP	511 558	61 387	117 147	0	10 231	0
Mezclas NPK	180 805	36 161	15 911	30 014	0	0
Nitrato de Amonio	3341	1136	0	0	0	0
CAN	79 994	21 598	0	0	0	6240
Nitrato de Potasio	17 801	2314	0	6497	0	0
Nitrato de Sodio	3182	509	0	0	0	0
Superfosfato Simple	346 967	0	29 145	0	46 841	56 556
Sulfato de Amonio	70 060	14 713	0	0	16 814	0
Sulfato de Potasio	11 552	0	0	4990	2079	0
Sulfonitrato de Amonio	31 491	8188	0	0	4409	0
Sulfato Doble de Potasio y Magnesio	961	0	0	176	211	0
Tiosulfato de Amonio	64 677	7761	0	0	16 816	0
Superfosfato Triple	133 771	0	28 493	0	1739	19 932
UAN (Con su contenido de Sólidos)	517 540	155 262	0	0	0	0
Urea	931 801	428 628	0	0	0	0
Mezclas NPS	83 660	10 039	15 059	0	8366	0
Total de reposición	3 399 999	820 233	280 895	61 028	114 946	82 727

Tabla 4. Balance de nutrientes para Argentina en la campaña agrícola 2010/11.

	N	P	K	Ca	S	Total
	t					
Extraído	2 091 572	441 348	1 021 921	154 462	222 664	3 931 967
Fertilizado	820 233	280 895	61 028	82 727	114 946	1 359 829
Balance	- 1 271 339	- 160 453	- 960 893	- 71 735	- 107 718	- 2 572 138
% Aportado	39	64	6	54	52	35

o abonos orgánicos o pérdidas de nutrientes vía erosión, lavado o en forma gaseosa.

Según datos publicados por Aproal (2011), en la campaña 2009/10 el cultivo con mayor superficie fertilizada fue el trigo, con 86%, seguido de los cultivos de maíz con 81%, girasol con 63% y soja con 52%. Asimismo, para la campaña 2009/10, estudios realizados por Fertilizar Asociación Civil (Fertilizar AC) muestran que 85% de los productores considera que fertilizar trigo y maíz es indispensable o muy importante y sólo 30% lo considera así para el cultivo de soja (Fertilizar, 2011). En soja, trigo y maíz ha comenzado a utilizarse S, mientras que otros nutrientes

como K, magnesio (Mg) y micronutrientes, se utilizan incipientemente. Muy pocos lotes fueron fertilizados bajo el criterio de reconstrucción y mantenimiento, práctica que consiste en aplicar la cantidad de nutrientes necesaria para llegar al nivel de máximo rendimiento económico evitando balances negativos.

En la **Tabla 4** se observa que el porcentaje de reposición de nutrientes totales es de un 35% de lo extraído, con un 39% de reposición de N, 64% de P, 6% de K, 54% de Ca, 52% de S y sin datos para B, determinando que los suelos se empobrecen progresivamente. Datos de trabajos anteriores indican una reposición del 35% en la cosecha 2006/07

Tabla 5. Nutrientes exportados en Argentina en la campaña agrícola 2010/11 y estimación de su valor económico.

Fertilizantes de referencia	N Urea 46% N	P Superfosfato Triple 21.3% P	K Cloruro de Potasio 49.8% K	Ca Carbonato de Calcio 38.8% Ca	S Sulfato de Amonio 24% de S	Total
----- U\$S t ⁻¹ -----						
Costo de los fertilizantes	590	690	650	50	480	-
----- t -----						
Déficit de nutrientes	1 271 339	160 453	960 893	71 735	107 718	2 572 138
Equivalente en fertilizantes	2 763 780	753 300	1 929 504	184 884	448 825	6 080 293
----- U\$S -----						
Valor total	1 630 630 200	519 777 000	1 254 177 600	9 244 200	215 436 000	3 629 265 000

(Cruzate y Casas, 2009; Capparelli, 2008; Ciampitti y García, 2008). Si bien los balances siguen siendo negativos, la relación entre lo extraído y adicionado, ha mejorado.

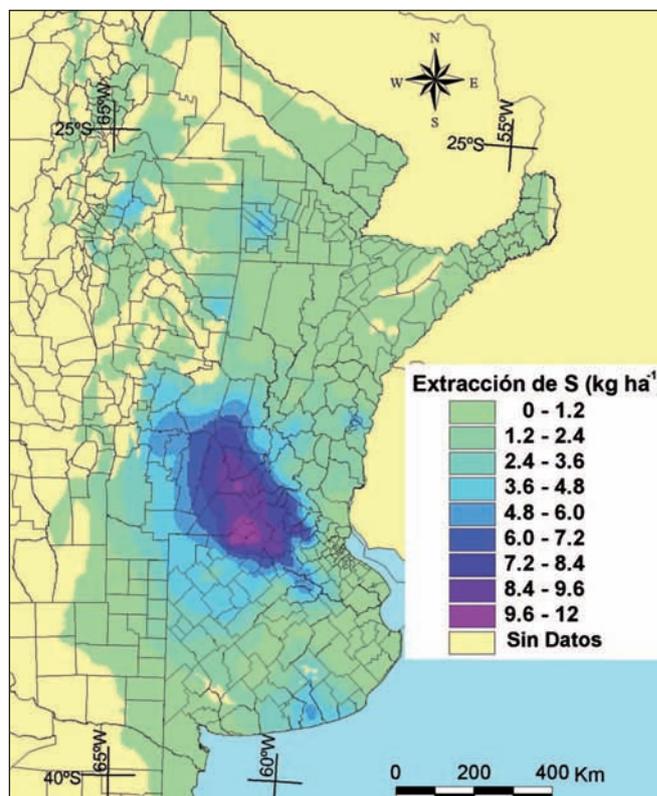
La reposición más alta de los últimos años se alcanzó en la campaña 2007. Los datos de CIAFA y de Fertilizar AC indican, que la cosecha de 2007/08, extrajo 4.0 millones de toneladas de nutrientes, mientras que la reposición, a través de los distintos fertilizantes (considerando N, P, K, y S), fue de 1.7 millones de toneladas. Esto significa que se repuso el 42% de lo que se extrajo de los suelos.

En la **Tabla 5** se realizó una estimación económica en dólares (U\$S) de los nutrientes exportados en los granos por los seis cultivos estudiados en la campaña 2010/11. Este valor sumaría un total de U\$S 3.63 mil millones.

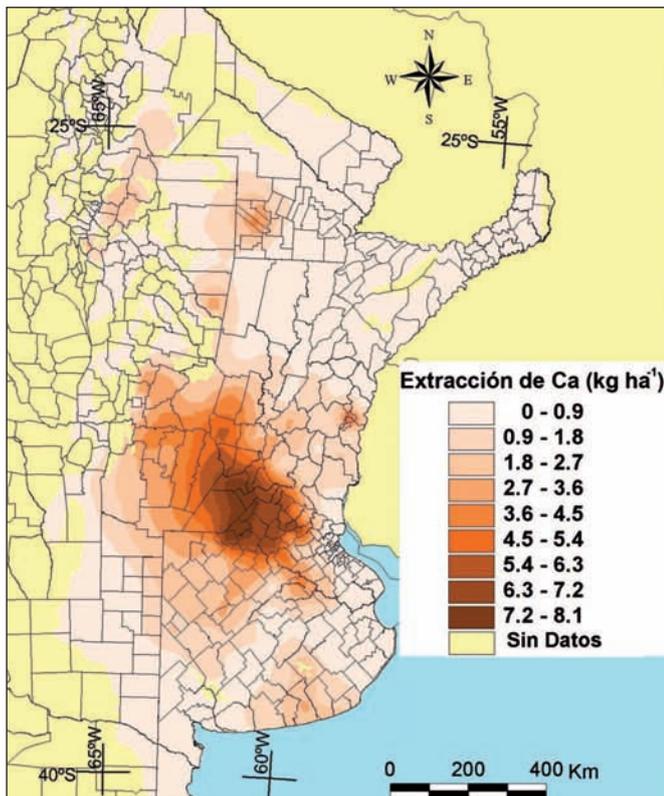
Exportación de nutrientes por hectárea

En los **Mapas 3 al 8**, se muestran las extracciones de cada elemento por unidad de superficie. Las mayores exportaciones de N ocurren en el norte de Buenos Aires (partidos de General Arenales, Leandro N. Alem y Junín) y en el departamento de Caseros en Santa Fe, con valores que rondan los 172 a 148 kg ha⁻¹ (**Mapa 3**). En el centro y sur de Santa Fe, oeste de Córdoba y norte de Buenos Aires se registran valores de extracción superiores a los 80 kg ha⁻¹ de N. Los departamentos de Chacabuco, Chaco y San Salvador, en la provincia de Entre Ríos, también tienen tasas de extracción superiores a los 80 kg ha⁻¹. Si se calcula la extracción por hectárea cosechada, se extrajeron cantidades mayores de 180 kg ha⁻¹ en los partidos de Colón, Rojas, Pergamino en Buenos Aires y en el departamento de Constitución, en Santa Fe.

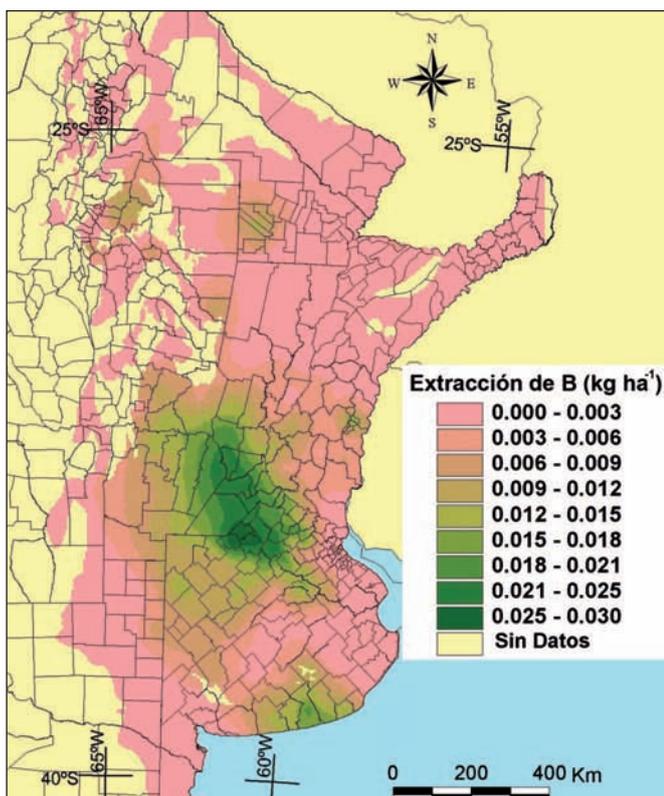
El **Mapa 4** muestra los valores kg ha⁻¹ de P exportado en los granos. Los departamentos con mayores valores son los mismos indicados para el caso de N, correspondientes a las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, con valores superiores a los 19 kg ha⁻¹. Extracciones mayores a los 23 kg ha⁻¹ cosechada se produjeron en San Alberto y San Javier (Córdoba), Ayacucho (San Luis) y Rojas (Buenos Aires). Un estudio realizado por Sainz Rosas y Echeverría (2008) indica que los balances negativos de P han resultado en caídas en los niveles de P asimilable en numerosas zonas de la región.



Mapa 6. Extracción de azufre (S) en granos por superficie de cada departamento. Argentina. Campaña agrícola 2010/11.



Mapa 7. Extracción de calcio (Ca) en granos por superficie de cada departamento. Argentina. Campaña agrícola 2010/11.



Mapa 8. Extracción de boro (B) en granos por superficie de cada departamento. Argentina. Campaña agrícola 2010/11.

Los mayores valores de exportación de K se presentan en los partidos de General Arenales, con 53 kg ha⁻¹; Leandro N. Alem con 49 kg ha⁻¹ y Colón con 47 kg ha⁻¹ en la provincia de Buenos Aires; y Caseros con 49 kg

ha⁻¹ en Santa Fe (**Mapa 5**). Si se consideran sólo las hectáreas cosechadas, valores mayores a 58 kg ha⁻¹ se presentan en los partidos de Colón, Pergamino y Rojas en Buenos Aires y Constitución en Santa Fe. De acuerdo a García y González Sanjuan (2010), en general, los niveles de K en los suelos agrícolas argentinos son elevados, por lo cual no se repone mediante fertilización potásica, pero se debe considerar que los balances negativos inevitablemente disminuirán la disponibilidad del nutriente a medida que pasen las campañas, y más aún con la intensificación de la producción.

El **Mapa 6** muestra los valores de S exportado en los granos. Los mayores valores se presentan en los departamentos General Arenales, Leandro N. Alem y Junín, en la provincia de Buenos Aires, y en el departamento de Caseros en Santa Fe, con valores mayores a los 10 kg ha⁻¹. Los mayores valores de exportación de S por hectárea cosechada se presentan en San Alberto (Córdoba), Colón, Rojas y General Arenales (Buenos Aires) con valores mayores a 12 kg ha⁻¹.

Por otra parte, los mayores valores de exportación de Ca se presentan en los partidos de General Arenales, Leandro N. Alem y Colón (Buenos Aires) y en el departamento de Caseros (Santa Fe) con valores que rondan entre 7 y 8 kg ha⁻¹ (**Mapa 7**). La exportación mayor por hectárea cosechada se presentó en Colón y Pergamino (Buenos Aires), Constitución (Santa Fe.) y Lules (Tucumán) con valores superiores a los 9 kg ha⁻¹.

Por último, el **Mapa 8** muestra los valores de exportación de B en los granos por hectárea. Los mayores valores se presentan en General Arenales, Leandro N. Alem y Junín (Buenos Aires) y en departamento Caseros (Santa Fe.), con valores superiores a los 0.025 kg ha⁻¹. Si se toma en cuenta sólo la superficie cosechada se ve que los valores mayores se presentan en la provincia de Corrientes, principalmente en los departamentos de Mercedes, San Martín, Saladas y Paso de los Libres, con valores superiores a los 0.5 kg ha⁻¹ de B.

Conclusiones

- Las cifras correspondientes al balance entre la extracción de nutrientes por los principales cultivos y los aportes por fertilización, continúan siendo deficitarias en los suelos agrícolas de la Argentina. En la campaña 2010/11 se extrajeron 3.93 millones de toneladas de N, P, K, S y Ca, siendo la reposición de 1.36 millones de toneladas, lo que representa un 34.6% de reposición. La situación descrita indica la existencia de sistemas productivos que no son sostenibles, afectando negativamente los niveles de fertilidad e incrementado los procesos de degradación de los suelos y, por ende, limitando el crecimiento de la producción agrícola nacional.

- Las áreas de mayor extracción de nutrientes están centralizadas en el sur de la provincia de Santa Fe principalmente en los departamentos de General López, Constitución y Caseros; en la provincia de Córdoba en los departamentos de Marcos Juárez, Unión y Río Cuarto y en la provincia de Buenos Aires en los partidos de General Arenales, Leandro N. Alem, Junín y Colón.
- En términos económicos, se observa que la exportación neta de nutrientes en grano, correspondiente a la campaña agrícola 2010/11, fue de alrededor de 2.57 millones de toneladas, lo que representa una cifra de U\$S 3.63 mil millones.
- Los suelos de las principales regiones agrícolas del país se ubican entre los más productivos del mundo, aunque continúan existiendo brechas considerables entre el rendimiento actual y el potencial. Para incrementar la productividad y la producción agrícola global, como así también evitar el agotamiento de los suelos resulta imprescindible incrementar la tasa de reposición de nutrientes apuntando a lograr un balance más equilibrado. En este sentido, las mejores prácticas de manejo de la fertilización deben integrarse a un programa de aplicación de buenas prácticas de manejo agronómico tales como rotación de cultivos, siembra directa, cultivos de cobertura, manejo de integrado de plagas y enfermedades y agricultura por ambientes, entre otras herramientas, contribuyendo significativamente a preservar y mejorar la calidad del recurso suelo.

Bibliografía

Agromercado. 2012. Revista. Año 31. No. 321. Enero 2012.

Aproal. 2011. Uso de fertilizantes en Argentina representa el 0.7% de producción mundial. <http://aproal-alimentos.blogspot.com/2011/01/uso-de-fertilizantes-en-argentina.html>. Consultado 20 de enero de 2011.

Capparelli, C.E. 2008. Extracción de nutrientes.ppt. CIAFA. www.ciafa.org.ar. Consultado agosto de 2008.

Casas, R.R. 2000. La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas. Disertación acto entrega Premio Antonio Prego. www.insuelos.org.ar.

Casas, R.R. 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos: Una oportunidad para la Argentina. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria; Anales: Tomo LX. Buenos Aires.

CIAFA. 2009. Consumo de fertilizantes 2006, 2007, 2008. <http://www.ciafa.org.ar/mercado.htm>. Consultado en 2011.

Ciampitti, I.A. y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. Archivo Agronómico No. 11. IPNI Cono Sur.

Ciampitti, I.A., y F.O. García. 2008. Citado por M. García. 2009 en Producción de granos y consumo de fertilizantes. http://www.sagpya.mecon.gov.ar/SAGPyA/agricultura/agua_y_suelos/05-fertilizan-tes/panorama.pdf

Cordone, G., y F. Martínez. 2003 El Azufre en el sistema productivo agrícola del centro sur de Santa Fe. www.elsitioagricola.com

Cruzate, G.A., y R. Casas. 2003. Balance de Nutrientes. Revista Fertilizar INTA Año 8 Número Especial "Sostenibilidad" ISSN 1666-8812 diciembre 2003 pp. 7-13.

Cruzate, G.A., y R. Casas. 2009. Extracción de Nutrientes en la Agricultura Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, IPNI. 44:21-26.

Díaz-Zorita, M., F.O. García, y R. Melgar. 2003. Fertilización en soja y trigo-soja: respuesta a la fertilización en la Región Pampeana. Resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar – INTA. Campaña 2000/2001 y 2001/2002. www.fertilizar.org.ar.

Ferraris, G.N. 2011. Nutrición. La cosecha que se lleva el carretón del lote. Proyecto Fertilizar INTA. Revista Fertilizar No. 24. Fertilizar AC. 2008. Mercado de fertilizantes 2007. <http://www.fertilizar.org.ar/estadisticas.php>.

Fertilizar AC. 2009. Fuerte caída del consumo de fertilizantes en 2008. http://www.fertilizar.org.ar/vertext.php?id_nota=590.

Fertilizar AC. 2011. Campaña de soja 2010-2011. http://www.fertilizar.org.ar/2011/vertext.php?id_nota=624&area=8.

Fontanetto, H., y O. Keller. 2011. Fertilización en sorgo. <http://www.profertilnutrientes.com.ar/images/archivos/610.pdf>

Fontanetto, H., y S. Gambaudo. 2010. El balance de nutrientes para sistemas agropecuarios sustentables. Ergomix.com. consultado en 2011 en www.produccion-animal.com.ar.

García, F.O. 2003. Balance y manejo de nutrientes en rotaciones agrícolas. En Trigo-Actualización 2003. INTA.

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

González, B. y S. Gambaudo. 2003. Encalado en Soja – Experiencias en restitución de calcio, magnesio y azufre. Proyecto Fertilizar. INTA. www.fertilizar.org.ar

Gudelj, V., P. Vallone, C. Galarza, y O. Gudelj. 2000. Evaluación de la fertilización con azufre, boro y zinc en el cultivo de trigo implantado en labranza mínima y siembra directa. Hoja Informativa No. 338 EEA Marcos Juárez INTA.

IFA. 1992. World fertilizer user manual. International Fertilizer Industry Association. Paris, France.

Infocampo. 2011. Advierten que la recuperación parcial del consumo de fertilizantes no es suficiente para cuidar el recurso suelo. <http://infocampo.com.ar/nota/campo/26453/advienten-que-la-recuperacion-parcial-del-consumo-de-fertilizantes-no-es-suficiente-para-cuidar-el-recurso-suelo>

INPOFOS. 1999. Requerimientos nutricionales de los cultivos. Archivo Agronómico No. 3.

INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina E 1:500.000 y 1:1000.000. SAGyP, INTA CIRN.-Proyecto PNUD ARG 85/019

MAGyP. 2007. Fertilización en Girasol - Campaña 2005/06. http://www.minagri.gob.ar/site/agricultura/agua_y_suelos/05-fertilizantes/Fertilizaci%C3%B3n%20en%20girasol_%2005.06%20IU.pdf?PHPSESSID=e937cdc039c2865b6a30d2292e8fc147

Martínez, F. 2002. La soja en la Región Pampeana. IDIA Año II No. 3.

Noticias.terra. 2011. Crece 31% en 2010 consumo de agroquímicos y prevén mayor repunte. http://noticias.terra.com.ar/crece-31-en-2010-consumo-de-agroquimicos-y-preven-mayor-repunte_09779b1341ebd210VgnVCM10000098f154d0R.CRD.html. Consultado 25 de enero de 2011.

Sainz Rosas, H., y H. Echeverría. 2008. Relevamiento de la concentración de fósforo asimilable en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana. Actas CD XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. AACD. Version CD.

SIIA. 2011. Sistema integrado de información agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Argentina. <http://www.siia.gov.ar>. Consultado en noviembre de 2011.

Urgente24. 2011. Dos buenas y dos malas. <http://www.urgente24.com/noticias/val/3250-176/2-buenas-y-2-malas.html>. Consultado 12 de diciembre de 2011.

Ventimiglia, L.A., H.G. Carta, y S.N. Rillo. 1999. Exportación de Nutrientes en campos agrícolas. <http://www.elsitioagricola.com>

Webdelcampo. 2011. El consumo de agroquímicos creció 31% durante el 2010. <http://www.webdelcampo.com/agricultura/568-el-consumo-de-agroquimicos-crecio-31-durante-el-2010.html> ★

Interpretación de la conductividad eléctrica aparente para la delimitación de zonas de manejo en el sudeste bonaerense

Nahuel R. Peralta^{1,3}, José L. Costa² y Franco M. Castro³

Introducción

La variabilidad espacial de los suelos es causada por interacciones entre procesos físicos, químicos y biológicos que actúan simultáneamente con diferente intensidad. El manejo uniforme de los lotes no es una estrategia de manejo eficiente ya que no tiene en cuenta la variabilidad existente (Moral et al., 2010). El manejo de cultivos sitio-específico (MCSE) es una forma de agricultura de precisión, ya que las decisiones sobre la aplicación de insumos y prácticas agronómicas se realizan considerando la variabilidad espacial de la fertilidad del suelo y los requerimientos de los cultivos. El MCSE supone que se puede clasificar a un lote en áreas homogéneas (referidas a zonas) en función de la medición de uno o más atributos del suelo que reflejen diferencias entre las zonas y, por lo tanto, en las propiedades del suelo (Moral et al., 2010). Sin embargo, es difícil determinar las zonas de manejo debido a las complejas interacciones de los factores edáficos que pueden afectar el rendimiento de los cultivos. Según Fraisse et al. (2001), la producción potencial de los cultivos está estrechamente relacionada con el agua disponible para los mismos, la cual depende a su vez, de la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo.

La conductividad eléctrica aparente del suelo (CE_a) ha sido utilizada para delimitar zonas de MCSE, ya que está influenciada por una combinación de propiedades físicas del suelo que determinan su fertilidad y, por ende, el rendimiento de los cultivos (Sudduth et al., 1995; Corwin et al., 2005; Moral et al., 2010). El objetivo del presente trabajo fue analizar si la medición de la CE_a del suelo a escala de lote en el sudeste de Buenos Aires (Argentina), es un estimador potencial de la textura del suelo que permita delimitar zonas para el MCSE.

Materiales y métodos

Esta investigación fue conducida en dos lotes, ubicados en distintos partidos del sudeste bonaerense. El lote "Huesos", de 124 ha de superficie, ubicado en el partido de Azul y el lote "Fernández", de 150 ha de superficie, ubicado en el partido de Lobería. Cada lote está constituido principalmente por una serie de suelo (Tabla 1): Huesos por la serie Mar del Plata (fina, mixta, térmica, Argiudol típico) y Fernández por la serie Azul (fina, mixta, térmica, Paleudol petrocálcico).

En cada lote, la medición de la CE_a se realizó utilizando una rastra Veris 3100® (Geoprobe Systems, Salina, KS,

EE.UU.). El Veris es un dispositivo de contacto (los electrodos están en contacto con la superficie del suelo), que puede medir la CE_a a dos estratos: de 0-30 cm y 0-90 cm (Figura 1). Para la elaboración de los mapas de CE_a , en este trabajo solo se utilizó la CE_a 0-90 cm (CE_{0-90}), ya que esta medida es más representativa del suelo y presenta menor variación temporal que la CE_a de 0-30 cm (Sudduth et al., 2003). La unidad Veris fue remolcada por una camioneta y simultáneamente fue midiendo la CE_{0-90} y georreferenciando los puntos con un DGPS Trimble® (Trimble Navigation Limited, EE.UU.) con una precisión de medición submétrica y configurado para tomar posición satelital por segundo. Para describir la variabilidad espacial y elaborar los mapas de CE_{0-90} dentro de cada lote, se analizaron los semivariogramas de dicha variable, los cuales son una función básica de la variabilidad espacial de un fenómeno de interés (Vieira, 2000; Vieira et al., 2002). Se procedió a la interpolación de los datos de CE_{0-90} con el procedimiento Kriging ordinario porque el valor interpolado con este método, carece de sesgo (Vieira, 2000).

Con el mapa de CE_{0-90} se orientó el muestreo de suelo en los lotes por zonas (Figura 2), clasificando la CE_{0-90} en cuatro categorías (Cook y Stubbendieck, 1986). Los valores y amplitud de las clases de CE_{0-90} se clasificaron en cuantiles de áreas iguales usando el Geostatistical Analyst en ArcGIS v9.3.1 (ESRI, 2009) (Tabla 2).

En julio de 2008 se realizaron los mapeos de la CE_{0-90} y se tomaron las muestras de suelo. El muestreo se



Figura 1. Equipo Veris 3100 montado detrás de una camioneta y equipado con un GPS Trimble®.

¹ CONICET. C.C. 276. 7620-Balcarce. Buenos Aires, Argentina. Teléfonos: 54-2266-15449161. Correo electrónico: nperalta21@gmail.com

² INTA Balcarce.

³ UNMdP, Facultad de Ciencias Agrarias.

Tabla 1. Sitios experimentales (lote), número de muestras recolectadas, evaluadas hasta 90 cm de profundidad y clasificación de suelos.

Lote	Muestras (n, 0-90 cm)	Serie de suelo*	Clasificación de suelo
Huesos	31	Consociación MP17	Mar del Plata (100%) - Argiudol típico
		Consociación MP26	Mar del Plata (100%) - Argiudol típico
		Complejo TEs5	Tres Esquinas (40%) - Argiudol típico La Barrancosa (30%) - Argiudol típico Mar del Plata (30%) - Argiudol típico
Fernández	21	Complejo Az 26	Azul (60%) - Paleudol petrocálcico Semillero Buck (30%) - Paleudol petrocálcico Cinco Cerros (10%) - Argiudol lítico

* INTA Castelar (1979-1980). Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires (1:50000). Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca.

Tabla 2. Rango de las clases de conductividad eléctrica aparente (CE_{0-90}) para cada lote.

Clases de CE_{0-90}	Lote	
	Huesos	Fernández
	CE_{0-90} (mS m ⁻¹)	
Baja	8-14	7-23
Baja - Media	14-16	23-28
Media - Alta	16-19	28-34
Alta	19-35	34-63

Tabla 3. Composición textural (A_s , L_i , A_r) y contenido de humedad (θ_g) y del suelo en cada lote.

	Huesos		Fernández	
	Promedio	CV	Promedio	CV
	%			
A_s	23.36	11.0	34.40	12.9
L_i	35.03	11.1	32.62	12.8
A_r	41.61	25.2	32.98	21.8
θ_g	23.00	11.8	30.00	10.1

A_s: arcilla; L_i: limo; A_r: arena; θ_g : contenido de humedad del suelo; CV: coeficiente de variación.

realizó con un muestreador hidráulico Giddings® (Giddings Machine Co., EE.UU.) guiado a dichos puntos manualmente con un GPS Juno ST® (Trimble Navigation Limited, EE.UU.). Una vez ubicado el punto a muestrear, se extrajo la muestra de suelo con un cilindro de 5 cm de diámetro por 90 cm de profundidad. El contenido de humedad del suelo (θ_g) se determinó por el método gravimétrico (diferencia de peso húmedo y peso seco obtenido por secado de la muestra en estufa a 105 °C). Las muestras de suelo se secaron en estufa con circulación de aire forzada a una temperatura de 40 °C, se molieron y tamizaron hasta pasar por una malla de 0.5 mm para la determinación de la distribución del tamaño de partículas (textura)

por medio del método de la pipeta de Robinson (Soil Conservation Service, 1972).

El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002). Para evaluar si la medición georreferenciada de la CE_{0-90} permitió delimitar áreas homogéneas dentro de los lotes, se compararon las diferencias en los promedios de las propiedades del suelo en las diferentes clases de CE_{0-90} utilizando el ANOVA del procedimiento PROC MIXED. Se realizó la comparación de medias de las propiedades del suelo con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$, utilizando el procedimiento de diferencia mínima significativa del procedimiento LSMEANS. Se calcularon estadísticos descriptivos para las propiedades del suelo por medio del procedimiento MEANS, correlaciones y regresiones simples entre las propiedades del suelo y CE_{0-90} utilizando el procedimiento CORR y REC, respectivamente (SAS Institute, 2002).

Resultados y discusión

El modelo de semivariograma que mejor describió la variabilidad espacial de la CE_{0-90} dentro de cada lote fue el esférico. Utilizando los parámetros ajustados de los semivariogramas esféricos y una grilla de interpolación de 10x10 m (Robert et al., 1998), se elaboraron los mapas de CE_{0-90} para cada lote usando cuatro categorías de clasificación (**Figura 2**).

El análisis estadístico descriptivo se realizó para conocer la variación de las propiedades del suelo medidas en cada lote (**Tabla 3**). Los suelos en Huesos tuvieron un contenido de arena mayor a 40% y menos de 24% de arcilla a través del perfil (0-90 cm) y fueron clasificados mayormente como franco a franco-arcillosos, mientras que los suelos en Fernández presentaron un contenido de arena y limo de 32.6 y 32.9%, respectivamente y más de 30% de arcilla, siendo clasificados como suelos franco-arcillosos a arcillosos (**Tabla 3**). El contenido de humedad fue mayor en Fernández (30%), que en Huesos (23%).

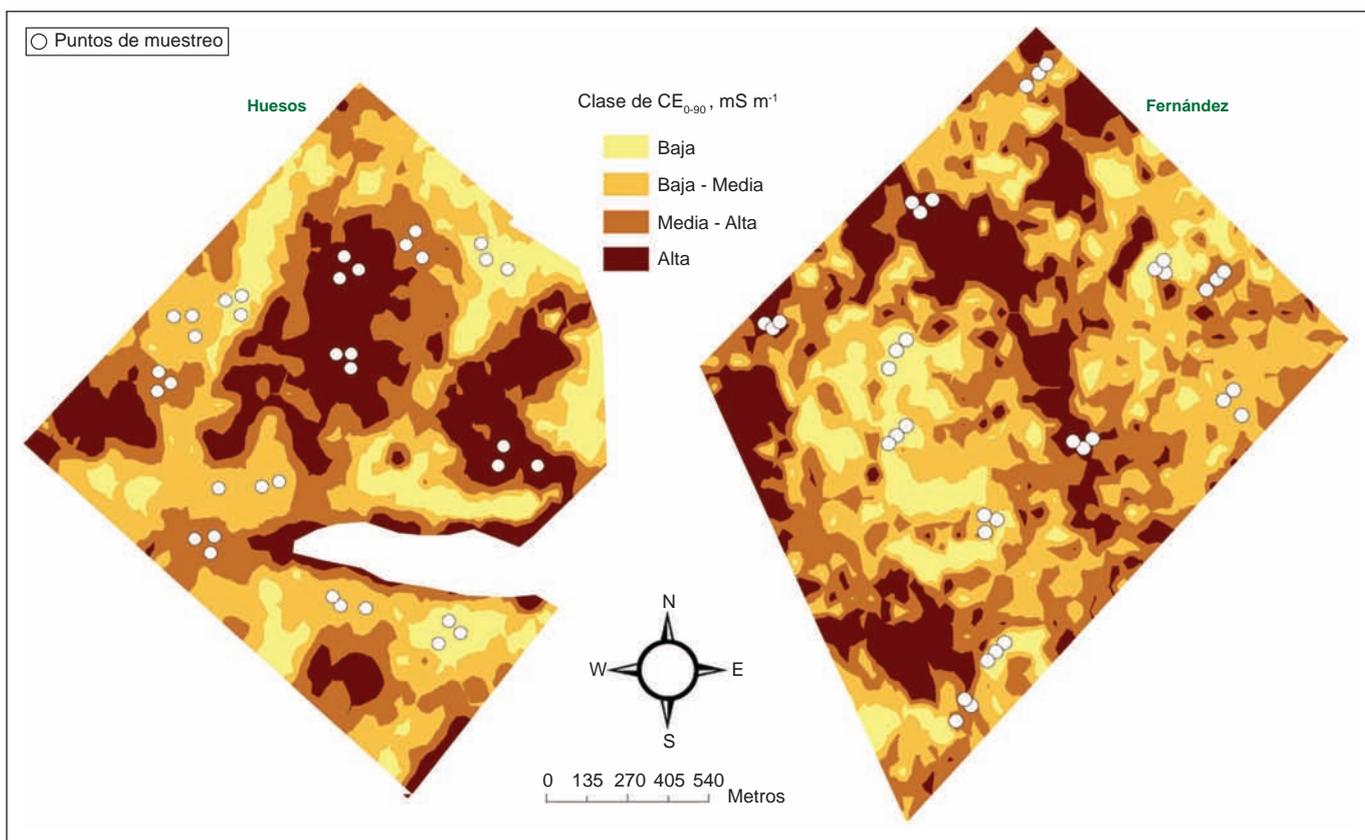


Figura 2. Mapa de conductividad eléctrica aparente (CE_{0-90}) para cada lote. Los círculos blancos indican los puntos de muestreo de suelo.

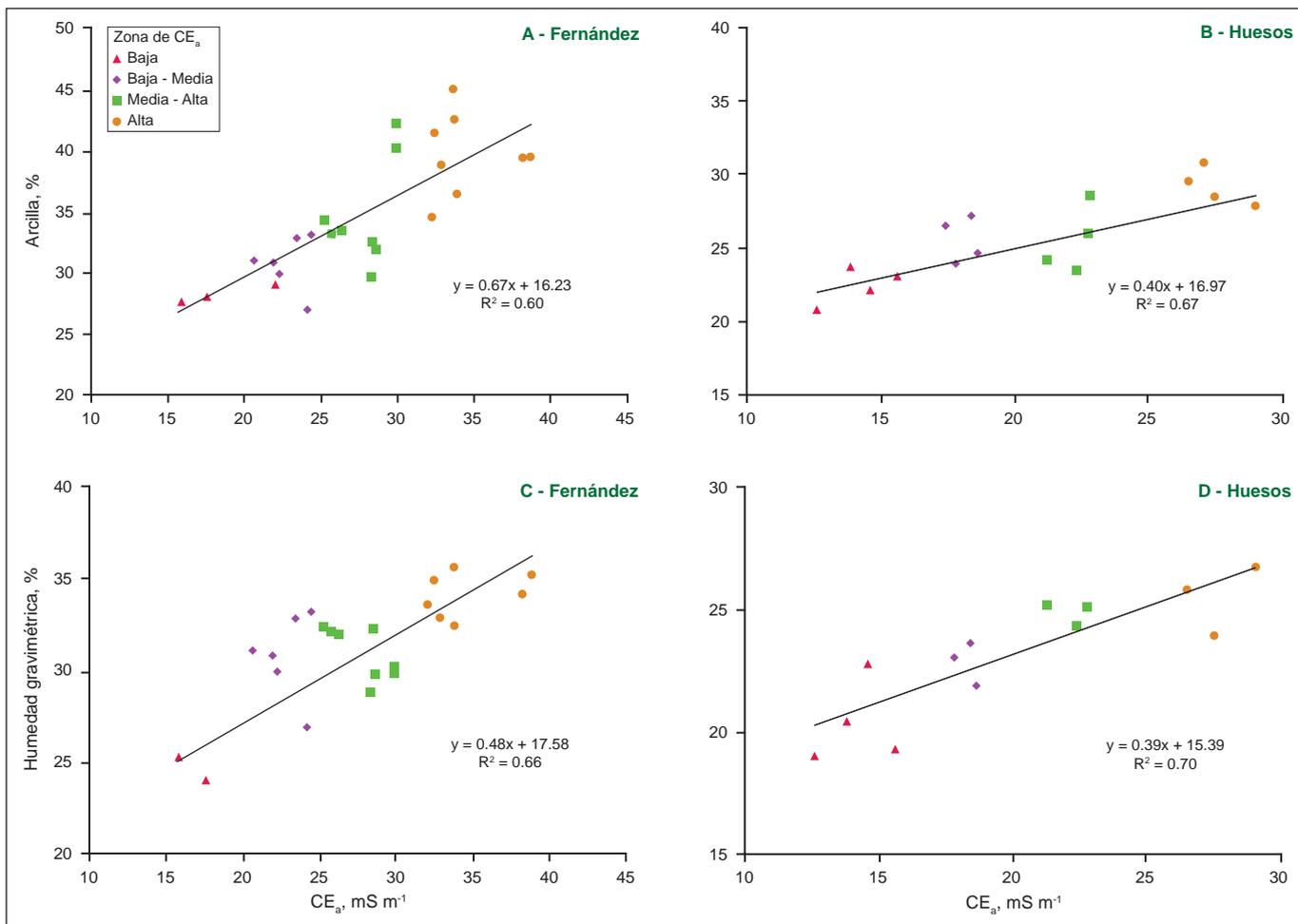


Figura 3. Relación entre el contenido de arcilla y humedad del suelo con la conductividad eléctrica aparente (CE_{0-90}) para ambos sitios analizados.

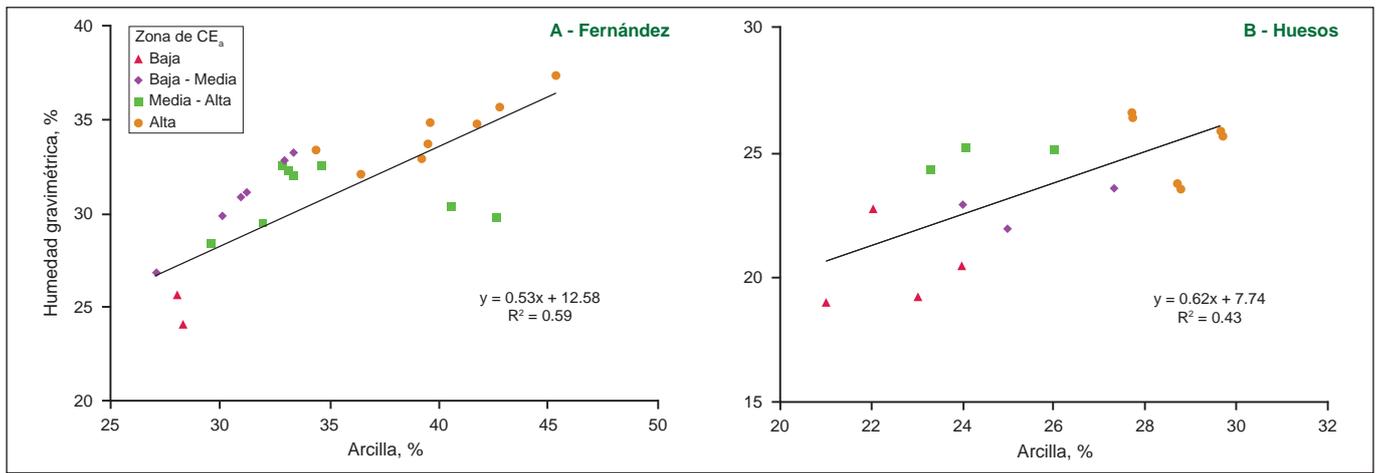


Figura 4. Relación entre la humedad de suelo y el contenido de arcilla para ambos sitios analizados.

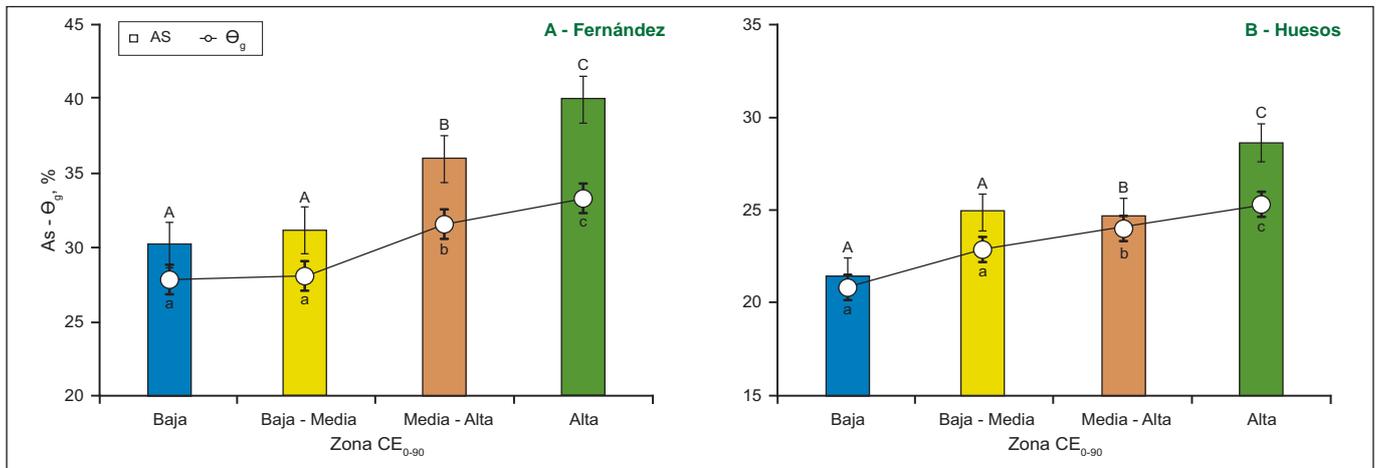


Figura 5. Valores promedio del contenido de arcillas (barras) y humedad (líneas de puntos) en las diferentes zonas de conductividad eléctrica aparente (CE_{0-90}). Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas, mayúsculas para contenido de arcilla y minúsculas para humedad del suelo ($p \leq 0.05$). Barras verticales indican el error típico de la media para cada zona. A_s : arcilla; θ_g : contenido de humedad gravimétrica del suelo.

Relación entre las propiedades de suelo y la CE_a

El análisis de correlación entre la CE_{0-90} y el contenido de arcilla, limo y arena varió entre lotes (Tabla 4). La correlación entre porcentaje de limo y CE_{0-90} fue débilmente significativa en Huesos, y no significativa en Fernández, contrastando con otros estudios (Sudduth et al., 2003), posiblemente porque la variación del contenido de limo fue más estrecha en este estudio, presentando un bajo CV (menor de 12%, Tabla 3).

Los lotes presentaron asociaciones altamente significativas en el contenido de arcilla y humedad gravimétrica con la CE_{0-90} ($p < 0.05$, Tabla 4). Por consiguiente, se realizó un análisis de regresión entre estas propiedades de suelo y la CE_{0-90} (Figura 3).

El porcentaje de arcilla estuvo correlacionado positivamente con la CE_{0-90} (Figura 3), probablemente porque la arcilla presentó correlación significativa con la humedad del suelo (Figura 4). La relación positiva entre CE_{0-90} y contenido de arcilla es coherente con estudios previos (Sudduth et al., 2003). La diferencia en

el grado de asociación entre CE_{0-90} y arcilla en los diferentes lotes fue principalmente debida a los diferentes contenidos de arcilla. El contenido de humedad del suelo estuvo significativamente correlacionado con la CE_{0-90} (Tabla 4 y Figura 3), ya que en el suelo la corriente eléctrica es conducida por la fase líquida, la cual depende directamente del contenido de agua del suelo (Friedman, 2005). Las variaciones del contenido hídrico son debidas a la variación en la distribución del tamaño de partículas (McCutcheon et al., 2006).

Delimitación de zonas de manejo

El ANOVA para la delimitación de las zonas de MCSE se realizó solamente con las variables de suelo que mostraron valores de correlación mayores a $r = 0.70$ (Herber, 2011). Para ambos lotes, se seleccionaron el contenido de arcilla y la humedad del suelo (Tabla 4). Estas propiedades edáficas presentaron diferencias significativas en tres zonas de CE_{0-90} en los lotes de producción (Figura 5). En estos datos, se puede observar claramente que la estructura espacial del contenido de

humedad del suelo estuvo asociada al contenido de arcilla. En general, estos resultados concuerdan con previas investigaciones, las cuales reportaron que la CE_{0-90} es influenciada por el contenido de arcilla, lo que refleja la capacidad de retención de agua del suelo y por lo tanto la variación espacial del rendimiento de grano de los cultivos (Kitchen et al., 2003).

En el sudeste de Buenos Aires, la evapotranspiración potencial generalmente excede a las precipitaciones registradas durante la estación de crecimiento de los cultivos (Calviño et al., 2003), y la cantidad de agua almacenada en el suelo al momento de la siembra es un factor crítico en los cultivos de secano (Jordan, 1983). Por ende, en función de los resultados obtenidos en el presente trabajo y considerando el efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos, la medición de la CE_{0-90} posiblemente permita explicar buena parte de las variaciones en los rendimientos, logrando implementar zonas potenciales de manejo y aplicar prácticas agronómicas en función de cada zona.

Conclusión

El contenido de arcilla y humedad del suelo presentaron correlaciones altamente significativas con la medición georreferenciada de la CE_{0-90} y, en consecuencia, la CE_{0-90} sería un potencial estimador de la variabilidad espacial de estas propiedades del suelo. Considerando que el contenido de arcilla es relativamente estable en el tiempo (Shaner et al., 2008) y que estuvo correlacionado con el contenido de humedad del suelo, estos resultados sugieren que los mapas de CE_{0-90} a escala de lote en los suelos del sudeste bonaerense, tienen un potencial para delimitar zonas potenciales de manejo y brindar la posibilidad de aplicar MCSE.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto de investigación de INTA AEAI3722 y PNCER2341. Los autores expresan sus agradecimientos a los Ing. Agr. Tomas Gowland (CREA) y Hernán Moreno (CREA), por su ayuda en la recopilación de los datos que se ofrecen en los campos donde se realizó el estudio y a Maximiliano Dosanto por la colaboración en el laboratorio. El presente trabajo es parte del trabajo de tesis de Nahuel Peralta para el cumplimiento de los requisitos del Doctorado en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata y del programa de becas de posgrado del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Bibliografía

Calviño, P.A., F.H. Andrade, y V.O. Sadras. 2003. Maize Yield as Affected by Water Availability, Soil Depth, & Crop Management. *Agron. J.* 95:275–281.

- Cook, C.W., y J. Stubbendieck. 1986. Range research: basic problems & techniques. Society for Range Management, Denver, CO. 317 p.
- Corwin, D.L., y S.M. Lesch. 2005. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. Survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46:103-133.
- ESRI. 2009. ArcGis 9.3.1 (software). Environmental Systems Research Institute. 1999-2009. Redlands, CA, USA.
- Fraisse, C.W., K.A. Sudduth, y N.R. Kitchen. 2001. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. *Trans. ASAE* 44(1):155–166.
- Friedman, S.P. 2005. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computers & Electronics in Agriculture* 46:45-70.
- Jordan, W.R. 1983. Whole plant responses to water deficits: An overview, pp. 289-317. In Taylor H M, WR Jordan, TR Sinclair (Eds.). Limitations to efficient water use in crop production. ASA-CSSA-SSSA. Madison.
- Herber, L. 2011. Conductividad eléctrica aparente como herramienta para delimitar zonas de manejo sitio-especifico en maíz (*Zea mays*) en la Provincia de Corrientes. Tesis para el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina.
- Kitchen, N.R., S.T. Drummond, E.D. Lund, K.A. Sudduth, y K.A. Buchleiter. 2003. Soil Electrical Conductivity & Topography Related to Yield for Three Contrasting Soil-Crop Systems. *Agron. J.* 95:483-495.
- McCutcheon, M.C., H.J. Farahani, J.D. Stednick, G.W. Buchleiter, y T.R. Green. 2006. Effect of Soil Water on Apparent Soil Electrical Conductivity & Texture Relationships in a Dry & Field. *Biosystems Engineering* 94:19–32.
- Moral, F.J., J.M. Terrón, y J.R. Marques da Silva. 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil and Tillage Research* 106:335-343.
- Robert, P., R. Rust, y W. Larson. 1998. Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture, 1998, St. Paul., MN. ASA/CSSA/SSSA.
- SAS Institute Inc. 2002. SAS/STAT Guide for personal computers. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Shaner, D.L., M.K. Brodahl, y G.W. Buchleiter. 2008. How Well Does Zone Sampling Based on Soil Electrical Conductivity Maps Represent Soil Variability? *Agron. J.* 100:1472-1480.
- Soil Conservation Service. 1972. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. US Department of Agriculture, Washington, DC., USA.
- Sudduth, K.A., D.F. Hughes, y S.T. Drummond. 1995. Electromagnetic induction sensing as an indicator of productivity on claypan soils. pp. 671-681. In P.C. Robert et al. (ed.) Proc. Int. Conf. on Site-Specific Management for Agricultural Systems, 2nd, Minneapolis, MN. 27-30 March 1994. ASA, CSSA, & SSSA, Madison, WI.
- Sudduth, K.A., N.R. Kitchen, G.A. Bollero, D.G. Bullock, y W.J. Wiebold. 2003. Comparison of Electromagnetic Induction and Direct Sensing of Soil Electrical Conductivity. *Agron. J.*, 95:472-482.
- Veris Technologies. 2001. Frequently asked questions about soil electrical conductivity. <http://www.veristech.com>. Veris Technologies, Salina. KS. Accessed 25 november 2010.
- Vieira, S. R., J.A. Millete, G.C. Topp, y W.D. Reynolds. 2002. Book for Geostatistical analysis of variability in soil & meteorological paramaters. In: Tópicos em Ciência do Solo vol. 2, Alvarez V., V. H (eds). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, pp. 1-45.
- Vieira, S.R. 2000. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS. R.F. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa. pp. 3-87. ★

Vicia y avena como cultivos de cobertura en maíz*

J. Capurro¹, M.J. Dickie², D. Ninfi³, A. Zazzarini³, E. Tosi³ y M.C. González⁴

Introducción

En los sistemas agrícolas difundidos en el sur de la provincia de Santa Fe, el maíz se implanta frecuentemente en suelos de baja fertilidad. Si bien usualmente el productor destina al cultivo los mejores lotes de su establecimiento, la mayoría de estos tienen niveles de nutrientes por debajo de los requeridos para una producción normal. Esta baja fertilidad generalizada de los suelos es producto de la falta de equilibrio entre lo aportado y exportado en materia de nutrientes, en las últimas décadas en la región (Capurro, 2010). Los cultivos de cereales (maíz y trigo) presentan menores necesidades de nutrientes por tonelada de producto que los cultivos oleaginosos (girasol y soja); sin embargo, la diferente productividad de los cultivos, fuertemente relacionada al ambiente, puede modificar esa relación, reduciendo o invirtiendo las diferencias entre cultivos (Dreccer, 2003).

Los requerimientos nutricionales del cultivo de maíz son de aproximadamente 22 kg de nitrógeno (N), 4 kg de fósforo (P), 19 kg de potasio (K), 4 kg de azufre (S), 3 kg de magnesio (Mg) y 3 kg de calcio (Ca) por tonelada de grano producido. El índice de cosecha (IC) para estos nutrientes es de 0.66, 0.75, 0.21, 0.35, 0.50 y 0.10, respectivamente (Ciampitti y García, 2007).

El rendimiento del cultivo de maíz es el resultado de la habilidad de la planta en la absorción, asimilación y utilización del N durante el crecimiento vegetativo y la posterior removilización del N adquirido hacia la espiga durante el período de llenado de granos (Muchow, 1998; Below, 2002).

Los cultivos de cobertura (CC) se siembran en una ventana de tiempo y espacio normalmente no ocupado por cultivos de cosecha de granos. El CC no se realiza con el objetivo de obtener granos; por el contrario, su inclusión en la secuencia apunta a mejorar condiciones edáficas, especialmente la fertilidad nitrogenada cuando se incluyen especies leguminosas, esperando que ello redunde en mejores rendimientos para los cultivos siguientes en la rotación (Lorenzatti, 2009).

Para lograr la sustentabilidad del sistema de producción debemos mejorar el balance de carbono (C) a través de un mayor aporte de biomasa vegetal. En este sentido, los CC son una herramienta agronómica ideal porque cumplen el doble rol de aportar C e incrementar el potencial de rendimiento del maíz, haciéndolo económicamente más competitivo respecto al cultivo de soja, estimulando su inclusión en la rotación (Ruffo y Parsons, 2004). Una gran variedad de leguminosas y gramíneas adecuadas para cada

ambiente en particular, han sido usadas como CC. En general, en el momento de terminación o secado de los CC, las leguminosas tienen una relación C:N más baja que las gramíneas. Debido a esto, el residuo de las leguminosas se descompone más rápidamente, aportando N para el cultivo siguiente también en forma más rápida (Miguez et al., 2009).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto de la inclusión de distintos CC y de la fertilización nitrogenada en la productividad de maíz, en Argiudoles del sur de la provincia de Santa Fe.

Materiales y métodos

Los ensayos se establecieron durante la campaña 2010/11 en dos ambientes: un suelo Argiudol típico serie Correa, con 16 años bajo agricultura continua (Materia orgánica, MO = 26.1 g kg⁻¹, P Bray = 15.1 mg kg⁻¹, pH = 5.6) y un suelo Argiudol acuíco serie Armstrong, con 22 años bajo agricultura continua (MO = 25.9 g kg⁻¹, P Bray = 9.8 mg kg⁻¹, pH = 5.8). La serie Correa es un suelo profundo, oscuro, bien drenado, ubicado en áreas fuertemente onduladas (Carta de Suelos de la Rep. Argentina, Hoja Cañada de Gómez y Rosario) y la serie Armstrong es un suelo oscuro, profundo y moderadamente bien drenado, que se desarrolla en un paisaje llano o de lomadas con muy escasas pendientes (Carta de Suelos de la Rep. Argentina, Hoja Armstrong). La posición en el relieve era de loma en el ambiente Correa y de bajo en el ambiente Armstrong.

Cada sitio experimental incluyó tres tratamientos de cobertura invierno primaveral, y tres sub-tratamientos de fertilización nitrogenada sobre el cultivo de maíz posterior, que se detallan en la (Tabla 1). Todos los tratamientos recibieron una fertilización a la siembra de 20 kg ha⁻¹ de P + 20 kg ha⁻¹ de S.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas, con los tratamientos de cobertura en las parcelas mayores y los sub-tratamientos de fertilización en las parcelas menores. Las unidades experimentales se distribuyeron en bloques aleatorizados con 3 repeticiones.

La densidad de siembra de los CC fue de 30 kg ha⁻¹ + 30 kg ha⁻¹ para el tratamiento A+V y 45 kg ha⁻¹ para V, a 0.175 m entre líneas de siembra. Los CC crecieron durante 141 días y su crecimiento se suprimió a mediados de octubre de 2011, durante el estadio de floración a fructificación, con aplicaciones de glifosato + 2,4 D.

Al momento de secado se evaluó la producción de materia seca aérea total (MS) de los CC en kg ha⁻¹ y la concentración de C, N, P y S, en porcentaje (%) de los tejidos vegetales.

¹ AER, INTA. Cañada de Gómez. Lavalle 1466 (2500, Cda de Gómez). Correo electrónico: inta@steelcdg.com.ar

² FCA, UNR. Correo electrónico: mdickie@unr.edu.ar

³ Asesor Técnico

⁴ EEA, INTA. Oliveros

* Presentado en el XXIII Congreso Argentino y XIX Latinoamericano de la Ciencia del Suelo – Mar del Plata, Abril 2012 – AACS y SLCS

Tabla 1. Descripción de los tratamientos (cultivo de cobertura previo y dosis de N sobre maíz) evaluados en los sitios del sur de Santa Fe. Campaña 2010/11.

Tratamiento	Dosis de N sobre maíz, kg ha ⁻¹	
Testigo (T)	N0	0
	N50	50
	N100	100
<i>Avena sativa</i> + <i>Vicia villosa</i> (A+V)	N0	0
	N50	50
	N100	100
<i>Vicia villosa</i> (V)	N0	0
	N50	50
	N100	100

El cultivo de maíz, Dekalb 747 MG RR2, se sembró el 2 de diciembre de 2011 en siembra directa, con una densidad de 76 000 pl ha⁻¹. Los sub-tratamientos de fertilización nitrogenada, se incorporaron al suelo en el momento de la siembra del maíz. A la cosecha se determinó el rendimiento de maíz en kg ha⁻¹.

Durante el desarrollo de la experiencia, los ambientes presentaron diferencias en el régimen de lluvias. Como puede observarse en la **Figura 1**, las lluvias primaverales fueron favorables en el ambiente Armstrong, si bien en los dos sitios las precipitaciones estuvieron por debajo de la media histórica de la región. El sitio Correa fue el más afectado por el déficit hídrico, con sólo el 49% de las lluvias históricas de septiembre a diciembre. Esto posiblemente se vio agravado por su condición de loma en el relieve del paisaje, con la napa freática a mayor profundidad que el sitio Armstrong.

Resultados y discusión

La producción de MS de los CC en los dos ambientes y el contenido de nutrientes en tejidos vegetales, se muestran en la **Tabla 2**. El tratamiento V produjo significativamente menos MS que A+V en ambos ambientes. Con un estadio fenológico más avanzado, la producción de MS en el sitio

Correa fue superior respecto de Armstrong en ambos tratamientos de cobertura.

Los contenidos de C aportados por V fueron menores que los incorporados por A+V en ambos sitios. Asimismo, los porcentajes de N fueron inferiores en los tejidos de A+V con respecto a V al momento de secado. Por tanto, la relación C:N de los tejidos de A+V fue más alta que la de V, en los dos sitios evaluados. Por último, los porcentajes de P y S en la MS, manifestaron diferencias entre los distintos CC, observándose valores más elevados en V, respecto de A+V.

El maíz llegó al estadio R1 (Ritchie et al., 1996) a los 52 y 56 días de la emergencia en cada localidad, durante la primera semana de febrero de 2011 y, coincidente con este estadio fenológico, se produjo una lluvia de gran magnitud que favoreció al cultivo en su período más crítico en cuanto a definición del rendimiento.

Los rendimientos de maíz en los sitios Armstrong y Correa se muestran en las **Figuras 2 y 3**, respectivamente.

En Armstrong, los promedios de rendimiento para los tratamientos de cobertura fueron: 9253, 11 731, y 9138 kg ha⁻¹ para los tratamientos T, V y A+V, respectivamente.

El antecesor *Vicia villosa* (V) rindió significativamente más que los otros antecesores según Duncan al 5%. Considerando todos los tratamientos de cobertura, los promedios de rendimiento para los sub-tratamientos de fertilización nitrogenada fueron: 11 753, 10 782 y 7587 kg ha⁻¹ para N100, N50 y N0, respectivamente, siendo los dos primeros significativamente superiores al N0, según Duncan al 5%. Los rendimientos de maíz sobre V+N100 y V+N50 superaron al rendimiento de maíz sin CC (T+N100) por 2597 kg ha⁻¹ y 1290 kg ha⁻¹, respectivamente. Estas diferencias probablemente se debieron al aporte del N liberado por los rastrojos del CC de la leguminosa. Por el contrario, el maíz sobre A+V+N100, rindió 1007 kg ha⁻¹ menos que el maíz T+N100, mostrando un efecto del antecesor bastante marcado.

En el ambiente Correa, las medias de rendimiento de maíz sobre los tratamientos de cobertura fueron: 6712, 6905, y 5906

Tabla 2. Producción de materia seca (MS) y aporte de nutrientes de los cultivos de cobertura *Vicia villosa* (V) y *Avena sativa* + *Vicia villosa* (A+V) en Armstrong y Correa. Campaña 2010/11.

	Armstrong				Correa			
	V		A+V		V		A+V	
MS (kg ha ⁻¹)	2903 b*		4647 a		3290 b		8199 a	
Nutrientes	kg ha⁻¹	%						
C	1093 b	37.64	1820 a	39.1	1201 b	36.5	3261 a	39.8
N	87.96	3.03 a	90.16	1.94 b	75.0	2.28 a	92.7	1.13 b
S	4.93	0.17 a	5.6	0.12 b	5.3	0.16 a	9.83	0.12 b
P	11.61	0.40 a	13.5	0.29 b	12.2	0.37 a	15.6	0.19 b
Relación C:N	12.42 b		20.18 a		16.01 b		35.18 a	

* En cada ambiente, letras distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos según Duncan al 5%.

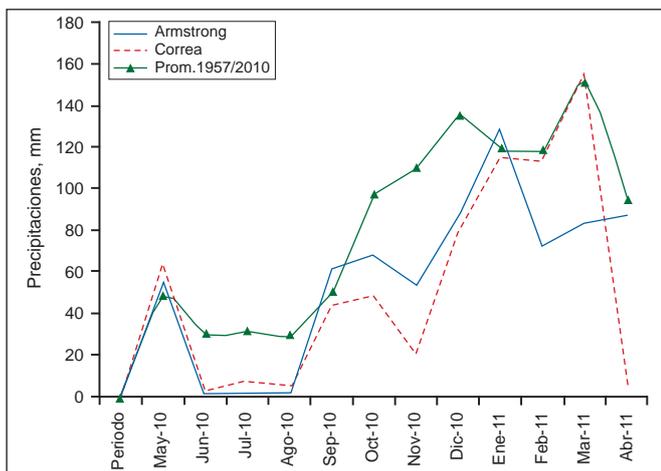


Figura 1. Precipitaciones registradas en los sitios Armstrong y Correa desde mayo de 2010 a mayo de 2011 y promedios mensuales históricos del periodo 1957-2010.

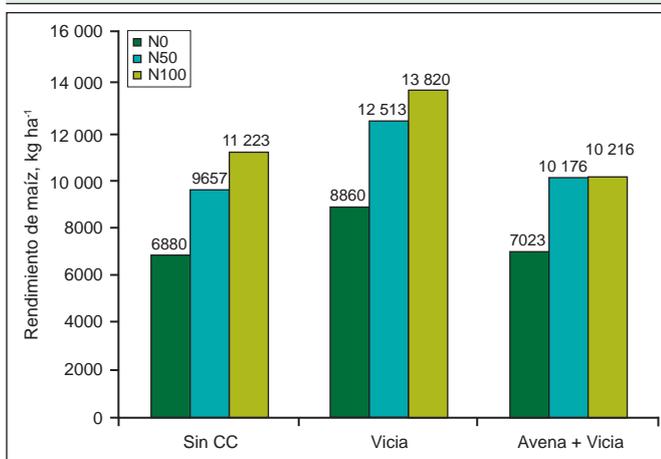


Figura 2. Rendimientos de maíz según cultivo de cobertura previo y dosis de N aplicada. Armstrong, Santa Fe. Campaña 2010/11.

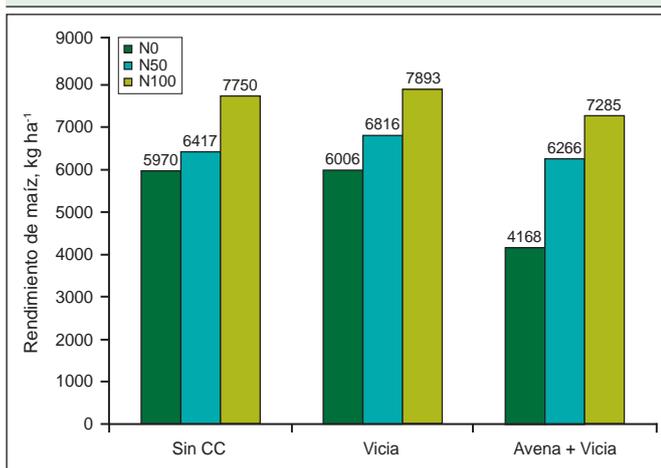


Figura 3. Rendimientos de maíz según cultivo de cobertura previo y dosis de N aplicada. Correa, Santa Fe. Campaña 2010/11.

kg ha⁻¹ para T, V, y A+V, respectivamente. Los tratamientos T y V no presentaron diferencias significativas en rendimiento de maíz entre sí, pero rindieron significativamente más que el maíz sobre A+V. Los promedios de rendimiento para los subtratamientos de fertilización fueron: 7642, 6500 y 5381 kg ha⁻¹ para N100, N50 y N0, respectivamente. Todos los niveles de N evaluados presentaron diferencias significativas entre sí según Duncan al 5%.

Conclusiones

El efecto del CC sobre la productividad del maíz fue variable según el ambiente evaluado, el CC considerado y el nivel de N aplicado:

- En el ambiente más húmedo, se obtuvieron rendimientos de maíz significativamente superiores cuando el cultivo antecesor fue *Vicia villosa*.
- En ambos ambientes, la mezcla *Avena sativa* con *Vicia villosa*, resultó en rendimientos de maíz menores respecto a utilizar solo *Vicia villosa*, e incluso no mostró mejoras respecto a no utilizar CC, que fue superior en algunos casos.
- Independientemente de agregar un CC previo al cultivo, el agregado de N sobre el maíz produjo siempre incrementos significativos en los rendimientos.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer especialmente a los Sres. Hernán Bazzi y Gerardo Savoretti y a sus familias, productores que aportaron su tiempo y esfuerzo para la realización de este trabajo; a los Sres. Daniel Pettinari y Daniel Peloni, Gerentes de la Cooperativa Agropecuaria de Armstrong Ltda., y de la Sociedad Agropecuaria de Correa Coop. Ltda., y a los Consejos de Administración de estas instituciones, por su apoyo al trabajo conjunto con INTA.

Bibliografía

- Below, F. 2002. Nitrogen metabolism y crop productivity, pp. 385-406, In M. Pessaraki, ed. Handbook of plant y crop physiology, Second edition. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Capurro, J., J. Monti, M.J. Dickie, y M.C. González. 2010. Vicia y Fertilización Nitrogenada en Maíz. Revista PMP Maíz INTA Oliveros.
- Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3360-13 y 14. Cañada de Gómez y Rosario y Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3363-18. Armstrong.
- Ciampitti, I.A., y F. García. 2007. Requerimientos nutricionales de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, Oleaginosas e Industriales. Archivo Agronómico No. 11. Informaciones Agronómicas No. 37. IPNI Cono Sur. Buenos Aires.
- Drecker, M., R. Ruiz, G. Maddonni, y E. Satorre. 2003. Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano. Cap. 18. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía (EFA). UBA. Buenos Aires: 481-497.
- Lorenzatti, S., y J. Romagnoly. 2009. La evolución silenciosa de la siembra directa y el desafío de las rotaciones con cultivos de cobertura. Simposio Fertilidad 2009. IPNI.
- Miguez, F., M. Villamil, S. Crandall, M. Ruffo, y G. Bollero. 2009. Los efectos de los cultivos de cobertura sobre los rendimientos de maíz. En: García F.O. e I.A. Ciampitti (Ed.). Simposio Fertilidad 2009. 12-13 de Mayo 2009. Rosario. Santa Fe. IPNI Cono Sur y Fertilizar AC.
- Muchow, R. 1998. Nitrogen utilization efficiency in maize y grain sorghum. Field Crops Res. 56:209-216.
- Ritchie, S.W., J.J. Hanway, y H.E. Thompson. 1996. Como se desarrolla una planta de maíz. Reporte Especial No. 48. Coop. Ext. Serv. Iowa State University. Ames, Iowa, EE.UU. Traducida al español por IPNI Cono Sur (Octubre 2003).
- Ruffo, M., y A. Parsons. 2004. Cultivos de Cobertura en Sistemas Agrícolas. Informaciones Agronómicas del Cono Sur No. 21. INPOFOS Cono Sur. Buenos Aires: 13-20. ★

Fósforo en la monocultura sojera: efecto de la dosis, forma y momento de aplicación sobre el balance nutricional

Luis Ventimiglia¹, Lisandro Torrens Baudrix¹ y Matías Saks²

Introducción

El cultivo de soja es el más importante de los cultivos extensivos que se realizan en la Argentina. En la campaña 2010/11, se sembraron cerca de 18.8 millones de hectáreas alcanzando una producción de más de 48 millones de toneladas (SIIA, 2012).

Una gran parte de este cultivo es realizado por terceros, en campos que no son de su propiedad. El sistema de siembra más difundido es el de siembra directa, predominando en muchos campos la monocultura sojera a raíz de la rentabilidad diferencial de este cultivo, respecto a los otros cultivos factibles de realizar en la región.

La fertilización es una práctica difundida, aunque no todos los lotes son fertilizados. Normalmente se utilizan diferentes mezclas físicas, con contenidos variables de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre(S), y calcio (Ca). También se utilizan fertilizantes compuestos, tales como: superfosfato triple de calcio, fosfato monoamónico y fosfato diamónico, y en menor medida, mezclas químicas.

La fertilización normalmente se realiza a la siembra, en la línea o al costado y debajo de la semilla. En muchas oportunidades se realiza una fertilización “starter o arrancadora”, empleándose pequeñas cantidades de fertilizante, las cuales en el caso del P, no llegan a cubrir la exportación que realiza anualmente el cultivo. En otros casos, se fertiliza en cobertura total sin incorporación, tratándose de aplicar el fertilizante unos meses antes de la siembra.

La extracción de P por parte del cultivo de soja es variable, encontrando en la bibliografía valores entre 4 a 7 kg t⁻¹ de grano producido (Andrade et al., 1996; Berardo, 2003; García, 2004), sin embargo, es posible que gracias al avance genético, las tasas de extracción puedan ser menores a las descriptas. La bibliografía indica concentraciones de P en grano de soja muy variables, desde 0.43% a 0.64% (Berardo, 2001), considerando rendimientos similares, esto implicaría tasas de exportación de P muy diferentes.

En función de lo expuesto, la Agencia INTA 9 de Julio comenzó un ensayo de larga duración, con el objetivo de responder a través del tiempo en una monocultura sojera, a una serie de interrogantes:

1) ¿Cómo se degrada el nivel de P en el suelo mediante una monocultura sojera?.

2) ¿Qué respuesta se tiene a la aplicación del nutriente?.

3) ¿Cómo varía la concentración de P en grano en función de la disponibilidad de este nutriente en el suelo?.

4) ¿Cuánto aportan al sistema productivo y al suelo pequeñas cantidades de P localizadas estratégicamente?.

5) ¿Cómo influye el momento de aplicación de P al voleo en el rendimiento y la calidad del grano producido?.

6) ¿El sistema combinado de aplicación de P (línea + voleo anticipado), da el mismo resultado que la aplicación al voleo anticipada, con igual cantidad de fertilizante?.

Materiales y métodos

En la campaña 2010/11, se implantó en la localidad de 9 de Julio (Buenos Aires), un ensayo sobre un suelo Hapludol éntico (serie Norumbega), el cual se pretende continuar a través de los años, manteniendo siempre los mismos tratamientos y evaluando la respuesta del cultivo de soja a la aplicación de P.

En el invierno del año 2010 se realizó un barbecho químico con glifosato, 2-4D y Clorimurón, a los efectos de controlar las malezas presentes y mantener limpio el lote hasta la siembra. Esta última se realizó el 3 de noviembre de 2010, empleándose la variedad DM 4670, sembrada a 0.35 m entre hileras y con una densidad de 17 semillas por metro lineal de surco. Durante el ciclo del cultivo se controlaron malezas y se realizó una aplicación de insecticida a los efectos de controlar trips y araña roja.

El diseño experimental establecido fue en bloques completos al azar con 4 repeticiones, contando cada unidad experimental con una superficie de 14 m². Los tratamientos ensayados se describen en la **Tabla 1**.

En los tratamientos que llevan reposición de P, el fertilizante se lo aplica en cobertura total, al voleo sin incorporar. Los tratamientos que llevan arrancador, este es aplicado en la misma línea de siembra, al momento de sembrar.

La dosis de reposición fue establecida en 140 kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio (0-46-0), (equivalente a 28 kg ha⁻¹ de P), en tanto que la dosis del arrancador en 40 kg ha⁻¹ del mismo fertilizante (8 kg ha⁻¹ de P).

¹ INTA 9 de Julio. Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: a9julio@internueve.com.ar

² BUNGE Argentina S.A.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de fertilización fosforada en soja. INTA 9 de Julio. Campaña 2010/11.

Tratamiento	Descripción	Dosis de P kg ha ⁻¹
T1	Testigo	0
T2	Reposición anticipada en Julio (todo al voleo)	28
T3	Arrancador a la siembra (en la línea)	8
T4	Voleo anticipado (20) + Arrancador en la línea (8)	28
T5	Reposición a la siembra (todo al voleo)	28

Tabla 2. Análisis de suelo previo al inicio del ensayo. INTA 9 de Julio. Campaña 2010/11.

Profundidad cm	Pe ppm	pH	N-NO ₃ ppm	S-SO ₄
0-20	6.1	5.9	8	1
20-40	3.7	6.2	6	-
40-60	3.7	6.5	5	-
60-80	3.1	6.7	-	-
80-100	3.4	6.9	-	-

Pe: P extractable (Bray); N-NO₃: Nitrógeno de nitratos; S-SO₄: Azufre de sulfatos.

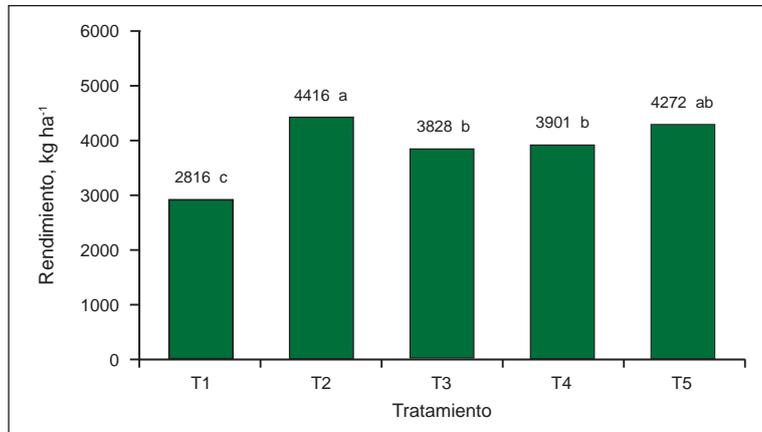


Figura 1. Rendimiento de soja (kg ha⁻¹) para el primer año de evaluación. INTA 9 de Julio. Campaña 2010/11. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

En el caso de que en algún año la exportación de P fuese mayor a la aplicación de reposición, esta será contemplada en la aplicación del fertilizante de la campaña siguiente.

Se determinó el rendimiento de las parcelas mediante cosecha manual (1 m²), expresando los resultados con 14.5% de humedad de granos. Se cuantificó la concentración de P en grano.

Al inicio de la experiencia, en capas de 20 cm y hasta los 100 cm de profundidad, se realizó un análisis de pH, P extractable (Pe, P Bray 1), conductividad eléctrica y

hasta los 60 cm se determinó el contenido de N como nitratos (N-NO₃). El contenido de azufre como sulfatos (S-SO₄) se determinó en los primeros 20 cm (Tabla 2).

Luego de cosechada la soja, se realizó en cada uno de los tratamientos un análisis de Pe hasta 100 cm, a intervalos de 20 cm. Las muestras de suelo para cada uno de los tratamientos ensayados fueron tomadas en el entre surco.

El nivel de P encontrado al inicio en el lote es el típico de los suelos de 9 de Julio, los cuales están muy distantes de los límites adecuados para cualquiera de los cultivos extensivos que se realizan en la región pampeana argentina.

Resultados y discusión

Del análisis de variancia se verificó la existencia de diferencias en rendimiento entre los tratamientos a un nivel inferior al 1% de probabilidad. Comparadas las medias mediante el Test de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5% de probabilidad, se verificó que todos los tratamientos que recibieron fertilización fosforada se diferenciaron del testigo (Figura 1). Cuando se compararon los tratamientos que recibieron fertilización, se verificó que existieron diferencias entre los tratamientos T2 y los tratamientos T3 y T4. El tratamiento T5 no difirió de T2 pero tampoco de T3 y T4. Aparentemente, la máxima dosis de fertilizante fosforado, aplicado en diferentes momentos y formas, superaría a la dosis menor o de "arranque", indicando que la dosis de P aplicada sería más importante que el momento y la forma de aplicación. Sin embargo, el tratamiento T4 mostro una respuesta diferente ya que no difirió del T3, lo cual no corresponde con esta observación.

Después de cosechado el ensayo (5 de abril de 2011), se realizó el muestreo de suelos correspondiente a P (Tabla 3). El tratamiento testigo (T1) presentó valores de Pe muy similares a los obtenidos antes de comenzar la experiencia. Esto nos estaría mostrando que los suelos Hapludoles de esta zona, pese a disponer de bajos niveles de P Bray, tendrían una rápida tasa de reposición desde otras fracciones de P. Los tratamientos que recibieron la dosis completa del fertilizante en cobertura total al voleo, ya sea aplicados en junio-julio o en el mismo momento de la siembra (T2 y T5), incrementaron notablemente el nivel de P en el suelo, en las diferentes profundidades muestreadas, siendo más notable este incremento en los primeros 20 cm, donde el nivel de P extractable aumentó en promedio

40.1%. Esto nos estaría indicando, que pese a obtener un incremento de rendimiento en soja de 1527 kg ha⁻¹ (+ 54%) respecto al testigo, quedó un remanente de P muy importante en la fracción disponible del suelo, señalando la muy baja tasa de fijación de P de los suelos arenosos como los Hapludoles.

Por último, el tratamiento que sólo llevó el arrancador (T3), el cual logró un buen rendimiento, presenta un valor de P muy parecido al testigo (T1) en la primera capa de 0-20 cm. Esto es de esperar, a raíz de que el fertilizante fue aplicado en la línea de siembra, siendo seguramente muy bien aprovechado por el cultivo, quedando una cantidad de P en la entre línea muy parecida a la de T1.

En función de los rendimientos obtenidos para cada tratamiento, el contenido de P en grano, y la dosis de P aplicada, se calculó el balance del nutriente para los distintos tratamientos (Tabla 4). El testigo (T1) y el tratamiento que recibió 40 kg ha⁻¹ de fertilizante como arrancador (T3), presentaron un balance negativo del P. En el T3, si bien alcanzó un buen rendimiento de soja (en promedio 3828 kg ha⁻¹), la cantidad suministrada de P no alcanzó a cubrir la demanda del cultivo, quedando un saldo negativo de 3.6 kg ha⁻¹ de P. Los tratamientos T2, T4 y T5 presentaron un balance positivo de P, entre 13 y 14 kg ha⁻¹, que seguramente será aprovechado por el/los cultivos siguientes, sirviendo por otro lado, para ir incrementando el nivel de P en el suelo.

También se observó una tendencia de mejora en la calidad nutricional del grano de soja que es fertilizada. El contenido de P en los granos de T2, T4 y T5 superó en promedio a T1 (testigo) en 18.5%. En cambio, T3 tuvo una mejora en la concentración de este nutriente respecto al testigo de solamente 5.5%.

Conclusiones

- De acuerdo a los interrogantes planteados al inicio del ensayo, para explicar *¿Cómo se degrada el nivel de P en el suelo mediante una monocultura sojera?*, se deberá esperar más tiempo. Por el momento, podemos decir que si bien se partió de un nivel bastante bajo de P extractable en los primeros 20 cm, después de realizar un cultivo de soja, el testigo sin aplicación mostró un nivel similar al inicial, indicando una muy buena tasa de reposición de P disponible desde fracciones menos lábiles.
- La pregunta inicial sobre *¿Qué respuesta se obtiene a la aplicación de P en soja?*, ha quedado ampliamente contestada. Como se mostró, todos los tratamientos fertilizados difirieron estadísticamente del testigo, indicando, al menos desde el punto de vista

Tabla 3. Análisis de Pe (Bray I) a diferentes profundidades, inmediatamente después de la cosecha de soja. INTA 9 de Julio. Campaña 2010/11.

Tratamiento	----- Pe, ppm -----				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
----- cm -----					
T1	6.3	4.0	4.3	3.5	2.8
T2	8.4	6.0	5.3	3.5	5.0
T3	6.9	5.0	5.2	5.4	4.7
T4	6.6	3.1	3.5	2.7	2.8
T5	8.8	4.9	5.1	4.6	4.0

Tabla 4. Concentración de P en grano (%), exportación de P (kg ha⁻¹), y balance de P (kg ha⁻¹). INTA 9 de Julio. Campaña 2010/11. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos.

Tratamiento	P en grano	P exportado	P aplicado	Balade de P
	%	----- kg ha ⁻¹ -----		
T1	0.29	8.1 c	0	-8.1
T2	0.34	14.9 a	28	13.0
T3	0.30	11.6 b	8	-3.6
T4	0.34	13.2 ab	28	14.8
T5	0.35	14.8 a	28	13.2

productivo, la respuesta positiva al agregado de P para los niveles de disponibilidad de este nutriente en la zona.

- Respecto a *¿Cómo varía la concentración de P en el grano de acuerdo a la disponibilidad del nutriente?*, la misma está asociada a la disponibilidad de P en el suelo. La menor concentración en grano la obtuvo el testigo con 0.29%, seguido por el tratamiento que recibió menos P (T3), con 0.30%, observando valores similares para el resto de los tratamientos (0.34% a 0.35%), los cuales alcanzaron resultados productivos muy parecidos.
- En lo que respecta a *¿Cuánto aportan al sistema productivo y al suelo pequeñas cantidades de P localizadas estratégicamente?*, el tratamiento que recibió solo una dosis de "arranque" (T3), aportó bastante al sistema de producción, dado que logró una eficiencia agronómica de 126.5 kg de soja por cada kg de P aplicado. Sin embargo, este tratamiento dejó un balance de P negativo para el suelo. En otras palabras, para mantener sustentable el sistema productivo, exclusivamente desde el punto de vista del P, deberíamos aplicar, para el rendimiento logrado (3828 kg ha⁻¹), una dosis de reposición de al menos 11.6 kg ha⁻¹ de P anualmente (58 kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio).

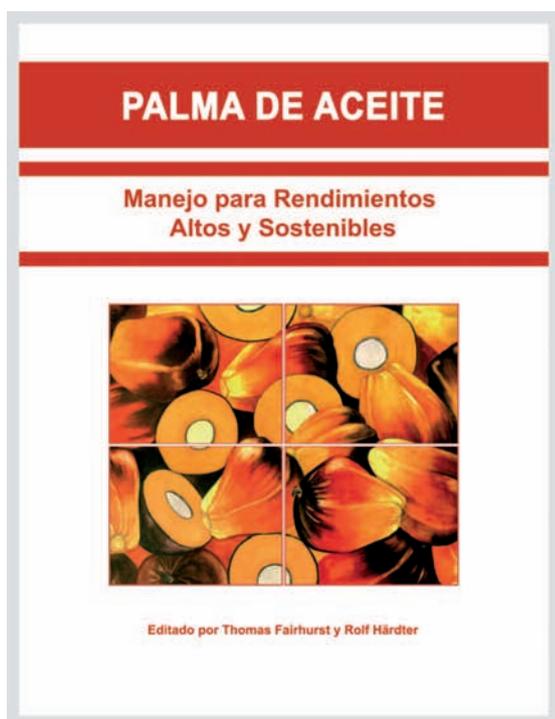
- El efecto del momento de aplicación del P al voleo no fue significativo sobre el rendimiento alcanzado, es decir que se llegó a resultados similares, con la aplicación en invierno, y con la aplicación en el mismo momento de la siembra. Este resultado coincide con otros trabajos realizados por la Agencia INTA 9 de Julio, en donde se concluyó que el efecto del momento de aplicación depende de la incidencia de otros factores, tales como: la estructura y porosidad del suelo, la presencia de compactaciones subsuperficiales, y la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo, en especial en las primeras etapas del desarrollo.
- El avance genético parece haber logrado que las plantas sean mucho más eficientes en la utilización del P, con concentraciones en grano menores a las reportadas por la bibliografía. Como se aprecia en la **Tabla 4**, la mayor tasa de exportación observada es de 3.46 kg de P por tonelada de grano, distando bastante de lo encontrado en la bibliografía, la cual indica valores casi 100% superiores a los obtenidos en esta experiencia. Esta podría ser una explicación de porqué con bajas dosis de aplicación de P, en suelos con carencias nutricionales, se siguen obteniendo buenos resultados en el cultivo de soja.
- Los resultados obtenidos en este primer año de estudio, muestran el valor estratégico que representa la fertilización con P en el cultivo de

soja. A medida que esta investigación avance, podremos cuantificar los efectos a largo plazo del manejo de P.

Bibliografía

- Andrade, F.H., H.E. Echeverría, N.S. González, S. Uhart, y N. Darwich. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo en los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín técnico N. 134. EEA INTA Balcarce. 17 p.
- Berardo, A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. In Simposio "El fósforo en la agricultura Argentina". INPOFOS. Rosario, 8 y 9 de mayo del 2003.
- García, F.O. 2004. Soil fertility management for soybean in Argentine. VII World soybean research conference, V International soybean proceeding and utilization conference. III Congreso Mundial de Soja. Actas pp. 392-399.
- SIIA. 2012. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. <http://www.sia.gov.ar>, consultado el 26 de enero del 2012. ★

NUEVA PUBLICACION PALMA DE ACEITE Manejo para Rendimientos Altos y Sostenibles



La palma de aceite es uno de los cultivos con mayor expectativa de crecimiento a nivel mundial, existe una gran demanda entre los palmicultores y agrónomos por conocimientos y publicaciones sobre su manejo adecuado. En el 2003, la oficina para el Sureste de Asia del International Plant Nutrition Institute, logró producir una de las publicaciones de mayor calidad sobre el manejo del cultivo, al recopilar una gran cantidad de material de especialistas de renombre en la industria. Tales como el Dr. Kees Breure, mejorador vegetal o el Dr. Ng Siew Kee, autor de investigaciones pioneras sobre la demanda nutricional de la palma.

Es un orgullo para el IPNI presentar ahora una versión del libro en español con el título: "Palma de Aceite: Manejo para Rendimientos Altos y Sostenibles". El libro cuenta con 15 capítulos del original en inglés y además un nuevo capítulo introductorio con algunas puntualizaciones sobre las particularidades de la producción de palma en América Tropical.

Estamos seguros que esta publicación va a ser de inmensa ayuda para todos los palmicultores y profesionales.

*Para realizar la compra de la publicación, enviar correo electrónico:
aormaza@ipni.net*

Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego

Álvaro García O.*

(Primera parte)

Introducción

La calidad de agua para riego ha sido objeto de innumerables investigaciones orientadas hacia la evaluación y definición de parámetros para calificar sus características físicas y químicas, lo cual ha conducido a la proposición de varios sistemas para su clasificación. Algunos de ellos como el de USDA (1954), aunque usados ampliamente no son completamente satisfactorios, lo que hace que periódicamente se propongan alternativas cada una de las cuales ha constituido una etapa importante dentro del proceso.

Cuando la cantidad de sales que entran en la solución del suelo excede a la cantidad que es removida por el agua de riego en su movimiento a través del perfil del suelo se presentan problemas los cuales pueden variar en clase y magnitud dependiendo de la concentración y el tipo de sales disueltas, ya que los suelos y las plantas reaccionan de manera diferente a diferentes sales.

En la práctica el clima, las condiciones físicas de los suelos, la mineralogía de las arcillas, el tipo de agricultura predominante, el cultivo a sembrar y las características particulares de cada caso son los parámetros que van a determinar en qué forma la acumulación de sales puede restringir la producción de los cultivos. Por estas razones, se considera que los criterios a usar para clasificar el agua de riego no pueden ser rígidos y se deben basar en las condiciones propias de cada caso. Los problemas más comunes resultantes del uso del agua para riego se relacionan con salinidad, alcalinidad, infiltración del agua en el suelo, toxicidad de iones presentes en ella, combinaciones de los anteriores y efectos causados por sólidos en suspensión, metales pesados, corrosividad, etc.

Los parámetros a utilizar para la predicción del efecto potencial del agua, para crear condiciones en el suelo que puedan afectar el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos y que hagan necesario restringir su uso o la adopción de técnicas de manejo especiales para mantener producciones aceptables, están por consiguiente relacionados con las siguientes condiciones:

- El tipo y concentración de las sales solubles las cuales, en el suelo o en el agua, reducen la disponibilidad de ésta para las plantas afectando los rendimientos.

- La concentración relativa de sodio (Na) y, en ocasiones de magnesio (Mg), con respecto a otros cationes. Cuando el contenido de calcio (Ca) es bajo, el Na y Mg reducen la velocidad de infiltración del agua en el suelo al causar dispersión de las partículas finas de arcilla, las cuales ocluyen macro y micro poros trayendo como consecuencia un bajo suministro de agua disponible para las plantas.
- Algunos iones como Na⁺, Mg²⁺, cloro (Cl⁻), sulfato (SO₄⁼), y elementos traza provenientes del agua de riego o presentes en el suelo, se pueden acumular y llegar a concentraciones que afectan los cultivos dependiendo del grado de tolerancia de los mismos a un ión dado.
- Efectos misceláneos: Dentro de este grupo se incluyen combinaciones de los casos anteriores, desbalances nutricionales ocasionados por excesos de determinados iones que traen como consecuencia reducciones en la cantidad y/o en la calidad de las cosechas, corrosión o deposición en equipos de riego y oclusión de tubería enterrada de drenaje, o de sólidos en suspensión que pueden hacer que el agua no sea apta para consumo humano o animal.
- Alcalinidad debida a la presencia de iones como bicarbonatos, calcio, magnesio y sodio.

Las anteriores propiedades pueden inducir desbalances nutricionales y la consecuente reducción en cantidad y calidad de la cosecha, o también ocasionar daños y corrosión en los equipos de riego, bloqueo de tuberías de drenaje y la producción de sólidos en suspensión que pueden volver al agua como no apta para consumo. Para cada uno de los criterios anteriores existen índices cuantitativos y determinaciones analíticas específicas que conducen a la necesidad de implementar diversos sistemas de tratamiento.

La muestra para análisis

Obtención de una muestra representativa

Cuando se muestrean ríos, lagos o canales grandes, las propiedades del agua pueden variar con la profundidad, el flujo, la distancia a la orilla y el tiempo. En estos casos se debe tomar una muestra compuesta desde la superficie hasta el fondo en el medio de la corriente y no de sitios en donde se producen

* Ing. Agr., M.Sc., Ph.D. Chair Person Soil Fertility and Plant Nutrition Commission, International Union of Soil Sciences (IUSS). Correo electrónico: agarciao58@yahoo.es

estancamientos. Cuando se requiere solo una muestra se debe obtener en el medio de la corriente y a media profundidad. Cuando se trata de aguas de pozo las muestras se deben tomar después de que la bomba haya trabajado por algún tiempo.

Los recipientes a usar (plásticos o de vidrio) se deben enjuagar previamente dos o tres veces en el agua a coleccionar, se llenan hasta el tope y se deben tapar herméticamente. La cantidad mínima que se necesita para análisis químicos ordinarios es de un litro.

Almacenamiento

En caso necesario, las muestras se deben conservar refrigeradas y analizar tan rápidamente como sea posible para reducir al mínimo los cambios químicos que se puedan presentar durante el almacenamiento como resultado de la actividad biológica, pérdida de CO₂ disuelto y reacciones químicas de precipitación y oxidación. Para prevenir la precipitación de CaCO₃, se puede agregar una gota de una solución de hexametáfosfato de sodio (100 mg l⁻¹) por cada 25 ml de la muestra. Si las muestras son muy turbias, se pueden separar por centrifugación o filtración.

Determinaciones analíticas necesarias

En la **Tabla 1** se detallan las determinaciones de laboratorio y los cálculos necesarios para evaluar la calidad de un agua para riego.

Conductividad eléctrica (CEa)

El agua pura es un mal conductor de la electricidad pero cuando tiene sales disueltas puede conducirla en forma proporcional a la cantidad de sales presentes. Este concepto se usa para la medición de su salinidad en términos de conductividad eléctrica la cual se expresa en S m⁻¹.

La mayoría de las aguas para riego tienen conductividades eléctricas (CEa) menores de 0.1 S m⁻¹ aunque las aguas subterráneas generalmente presentan valores mayores, por lo cual el uso de subunidades como el decisiemen y el microsiemen (1 dS m⁻¹ = μS cm⁻¹ x 10⁶) facilita su expresión de una manera más conveniente y práctica en la mayoría de los casos.

Conviene tener presente que antes del establecimiento del Sistema Internacional de Unidades (SI) la unidad, aún en uso por técnicos y muchos laboratorios, era el μmho cm⁻¹ equivalente al μS cm⁻¹.

Tabla 1. Determinaciones de laboratorio necesarias para evaluar la calidad del agua para riego (Adaptado de Ayers y Westcot, 1985).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango usual
Salinidad			
Conductividad eléctrica	CEa	dS m ⁻¹	0 - 3
Total sólidos disueltos	TSD	mg l ⁻¹	0 - 2000
Cationes y aniones			
Calcio	Ca ⁺⁺	cmol(+) l ⁻¹	0 - 20
Magnesio	Mg ⁺⁺	cmol(+) l ⁻¹	0 - 5
Sodio	Na ⁺	cmol(+) l ⁻¹	0 - 40
Potasio	K ⁺	cmol(+) l ⁻¹	0 - 0.2
Carbonatos	CO ₃ ⁼	cmol(+) l ⁻¹	0 - 0.1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	cmol(+) l ⁻¹	0 - 10
Cloruros	Cl ⁻	cmol(+) l ⁻¹	0 - 30
Sulfatos	SO ₄ ⁼	cmol(+) l ⁻¹	0 - 20
Nitratos	NO ₃ ⁻	cmol(+) l ⁻¹	0 - 5
Misceláneos			
Boro	B	mg l ⁻¹	0 - 2
Reacción	pH		6 - 8.5
Relación adsorción de sodio	RAS*	[cmol(+) l ⁻¹] ^{1/2}	0 - 15

* RAS = $Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$

Existen algunas relaciones entre la CE, la concentración de sales y la presión osmótica que son bastante útiles para realizar cálculos y para verificar la calidad del análisis:

- Suma de cationes (cmol l^{-1}) \approx Suma de aniones (cmol l^{-1}) \approx 10 CE (dS m^{-1}).
- Concentración de sales (cmol l^{-1}) \approx 640 CE (dS m^{-1}).
- Potencial osmótico a 25 °C (bar) \approx CE (dS m^{-1}).

Para la determinación, en campo o en laboratorio, es recomendable usar equipos que hagan termo-compensación automática ya que se debe tener presente que la CE aumenta a medida que aumenta la temperatura (aproximadamente 2% por cada °C).

Total de sólidos disueltos (TSD)

Este parámetro se utilizó inicialmente para apreciar la salinidad de las aguas de riego y, hoy todavía se utiliza cuando no se dispone de un conductímetro. Para su determinación se procede a evaporar un volumen conocido de agua completamente. La presencia de agua higroscópica en la mezcla de sales resultante hace que el TSD dependa de las condiciones usadas para el secamiento. La concentración de las sales en la mayoría de las aguas de riego es menor de 100 mg l^{-1} pero las aguas subterráneas pueden tener valores de TSD mayores.

Determinación de cationes y aniones

En las aguas usadas para riego existen en forma predominante los cationes calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+) y los aniones bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl^-), sulfato ($\text{SO}_4^{=}$), nitrato (NO_3^-) y carbonato ($\text{CO}_3^{=}$). Para la determinación de los iones mencionados se siguen las mismas metodologías usadas en el extracto de saturación de suelo.

Boro

Microelemento esencial para las plantas requerido en cantidades muy pequeñas (<5 ppm en el suelo), el cual puede ser tóxico para las mismas, en concentraciones muy cercanas a las adecuadas. Aunque los cultivos difieren en la cantidad de boro que requieren y algunas especies presentan cierto grado de tolerancia a los excesos, es necesario manejar con cuidado la aplicación de aguas de riego ricas en este nutrimento dado ya que en exceso causa toxicidad a muchas plantas. Es el caso de algunas zonas en proximidades del volcán Cotopaxi (Ecuador), donde se aprecian toxicidades en cultivos hortícolas regados con aguas con alto contenido de este nutriente.

Por esta razón es recomendable monitorear las aguas en aquellas zonas donde se presume pueden resultar depósitos de minerales ricos en boro. Para el efecto se

siguen las mismas técnicas analíticas utilizadas para su determinación en los extractos de suelos.

Molibdeno

Aunque el contenido de este elemento en las aguas de riego es normalmente muy bajo, en algunas ocasiones se pueden presentar toxicidades en animales que se alimentan con plantas regadas continuamente con aguas que lo contienen. Su determinación se realiza en la misma forma que para plantas después de obtener el digestado. Es necesario filtrar la muestra antes de analizarla.

Elementos traza y metales pesados

Aunque no todos los elementos traza son tóxicos y de hecho algunos son esenciales para el crecimiento de las plantas (Fe, Cu, Mn, Zn), cuando están presentes en cantidades excesivas se presentan diversos efectos como acumulaciones en los tejidos, reducciones en el crecimiento, quemazones y muerte de las plantas.

Historia de los criterios para evaluar el agua de riego

El sistema propuesto por el Laboratorio de Salinidad del USDA en el Manual 60 (Richards, 1954) fue desarrollado para las condiciones promedio de la región árida del Suroeste de los Estados Unidos. Según Plá (1979) la sencillez del sistema y la falta de criterio sobre sus limitaciones por parte de los usuarios, ha conducido a un uso general e indiscriminado en situaciones muy diferentes y con alcances más allá de los previstos cuando fue desarrollado. Ello ha provocado muchos errores en los diagnósticos de problemas de salinización, y en las recomendaciones de prácticas de manejo.

La iniciativa de los investigadores de la Universidad de California Riverside y del Laboratorio de Salinidad del USDA. Ha permitido establecer criterios modernos que progresivamente llevaron a abandonar los planteados en el Manual 60 de Richards (1954). Varios sistemas se propusieron con posterioridad, entre los cuales se pueden mencionar las propuestas de Bernstein (1967), Bower et al. (1968), Rhoades (1968), Bernstein y Francois (1973) y Rhoades (1974) las cuales fueron recogidas por la FAO (1976a, 1976b).

Suárez (1981) propuso variaciones de fondo fundamentado en sus investigaciones sobre los procesos de precipitación de carbonatos que han llevado a construir criterios modernos.

Con base en la tendencia existente hoy en el mundo a definir una forma más cualitativa que cuantitativa las posibilidades de uso de un agua de riego haciendo que los criterios de clasificación se usen en una forma elástica y particular para cada caso, aquí se hace referencia a los criterios propuestos por Ayers y

Westcot en el Manual 29 de la FAO (1985) los cuales resumen la mayoría de los principios en uso por el Laboratorio de Salinidad del USDA (USSLab.) y la Universidad de California Riverside.

Estos también se vienen usando exitosamente para la evaluación de las sustancias comúnmente encontradas en las aguas usadas para el riego de cultivos en varias áreas del mundo, incluyendo aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas de drenaje y aguas negras.

Hipótesis sobre las cuales se basan las guías para la evaluación de aguas según la FAO (1985)

En general se asumen las siguientes situaciones:

- Suelos con buen drenaje interno.
- Clima seco donde la lluvia no juega un papel significativo en el suministro de agua a las plantas.
- Métodos de riego y manejo de los mismos mediante aplicación no periódica, sino cuando el cultivo ha utilizado una porción considerable del agua de suelo (50% o más).
- Al menos 15% del agua aplicada debe percolar por debajo de la zona radicular.

A pesar de que las plantas de cultivo tienen diferentes patrones de absorción de agua, se asumen condiciones fisicoquímicas del suelo que permiten un patrón de absorción del 40% en el cuarto superior del sistema radicular, 30% en el segundo, 20% y 10% en los subsiguientes.

Estas hipótesis llevan a la conclusión de que la salinidad en la zona de raíces inferior del suelo es de poca importancia, siempre que se mantenga libre de sales y con buena humedad la zona radical activa.

En la **Tabla 2** se presentan dichos criterios.

Efectos de las sales sobre las plantas

El objetivo primario del riego es proporcionar agua a los cultivos en la cantidad adecuada y en el momento oportuno, para evitar pérdidas en producción debidas a los largos períodos de escasez de agua durante las etapas críticas de crecimiento.

El riego continuado con aguas que tienen sales en solución puede traer como consecuencia la salinización de los suelos, reduciendo la disponibilidad de agua para planta. Las sales incrementan el esfuerzo que la planta debe ejercer para extraer el agua: ésta fuerza adicional es la que se conoce como efecto osmótico o potencial osmótico. Este es el efecto más común de las sales y es independiente de la clase de sales disueltas. El tipo de daño producido se conoce como la presión relacionada con el potencial osmótico y se identifica por una reducción en la producción proporcional al aumento en

la salinidad del suelo por encima de un cierto nivel crítico.

Maas y Hoffman (1977) describen el efecto osmótico en términos de producción relativa (Y) y de CEa mediante la ecuación:

$$Y = 100 - B (CEa - A) \quad (1)$$

Donde:

- Y = Producción relativa en porcentaje.
- CEa = Conductividad eléctrica del extracto en $dS\ m^{-1}$.
- B = Disminución en el rendimiento por unidad de aumento en la salinidad por encima del nivel crítico.
- A = Valor crítico de la salinidad en $dS\ m^{-1}$.

La ecuación (1) implica la existencia de unos valores A y B característicos para una especie dada. La **Tabla 3**, resultado de trabajos de evaluación relativa de la tolerancia a las sales, proporciona los dos parámetros esenciales para expresar la tolerancia a las sales para diferentes cultivos, así:

- A. Salinidad máxima permisible sin que ocurra reducción en los rendimientos o nivel crítico.
- B. Porcentaje de disminución en el rendimiento por unidad de aumento en la salinidad más allá del nivel crítico. Esta información se obtuvo analizando todas las referencias sobre salinidad existentes en el período entre 1950 y 1975 lo cual dio origen al establecimiento de la ecuación citada. Usando la ecuación (1) y la información de la **Tabla 3** se puede deducir el efecto probable de la salinidad del suelo sobre un cultivo dado.

Si se acepta como corriente la utilización de un exceso de agua de 15 a 20% (fracción de lavado = 0.15 a 0.20) se puede utilizar la salinidad de riego (CEa) para predecir o estimar la salinidad del suelo CEas, usando las siguientes relaciones.

$$CEas = 3\ CEa$$

$$CEe = 1.5\ CEa$$

$$CEas = 2\ CEe$$

Donde:

- CEas = CE del agua del suelo.
- CEa = CE del agua de riego.
- CEe = CE del extracto de saturación.

Con base en los trabajos de Maas y Hoffman (1977) se han desarrollado tablas de tolerancia y producción potencial para diversos cultivos que son útiles en muchas circunstancias (**Tabla 4**).

Efecto del sodio sobre las propiedades físicas de los suelos

El agua puede causar una reducción severa en la permeabilidad de los suelos cuando su concentración de sales es muy baja ($< 0.5 \text{ dS m}^{-1}$) y, especialmente, cuando es menor de 0.2 dS m^{-1} porque es corrosiva y tiende a lavar la superficie dejándola libre de minerales solubles y sales, especialmente de Ca reduciendo su influencia fuertemente estabilizadora sobre los agregados y sobre la estructura del suelo, facilitando su

dispersión y la oclusión de los poros más finos (Ayers y Westcot, 1985).

Cuando en el agua de riego hay una alta concentración de sodio este elemento aumenta el contenido del mismo en la solución del suelo, y por ende, la saturación de Na intercambiable (PSI). Algunos factores de los cationes involucrados, pueden influenciar el equilibrio mencionado y hacer variar la relación. Generalmente, la acumulación de Na intercambiable en los suelos a niveles superiores al 10% o 20% de la CIC

Tabla 2. Criterios para evaluar la calidad de aguas para riego⁽¹⁾.

Problema potencial	Unidades	----- Grado de restricción en el uso -----		
		Ninguno	Ligero o Moderado	Severo
Salinidad ⁽²⁾				
CEa	dS m ⁻¹	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
TSD	mg l ⁻¹	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltración ⁽³⁾				
RAS = 0 - 3 y CEa		> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
= 3 - 6		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
= 6 - 12		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
= 12 - 20		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
= 20 - 40		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicidad de iones específicos				
Sodio (Na⁺) ⁽⁴⁾				
Riego superficial	RAS	< 3.0	3.1 - 9.0	> 9.0
Riego por aspersión	cmol(+) l ⁻¹	< 3.0	> 3.0	
Cloruros (Cl⁻) ⁽⁵⁾				
Riego superficial	cmol(+) l ⁻¹	< 4.0	4.0 - 10	> 10
Riego por aspersión	cmol(+) l ⁻¹	< 3.0	> 3.0	
Boro (B) ⁽⁶⁾	mg l ⁻¹	< 0.7	0.7 - 0.3	> 3.0
Elementos traza (ver tabla 11)				
Nitratos (N-NO ₃ ⁻) ⁽⁷⁾	mg l ⁻¹	< 5	5.0 - 30	> 30
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	mg l ⁻¹	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH		Rango Normal 6.5 - 8.4		

¹ Adaptación hecha por Ayers y Westcot (1985).

² La salinidad afecta la disponibilidad de agua para las plantas. La CEa se reporta en términos de decisiememes por metro a 25 °C (dS m^{-1}) o en milimhos por centímetro (mmho cm^{-1}). Ambas medidas son equivalentes siendo la primera la unidad adoptada por el Sistema Internacional de Unidades. TSD equivale a total de sólidos en solución y se expresa en mg l^{-1} .

³ Se refiere al efecto del agua de riego sobre las propiedades hídricas de los suelos causando disminución en la velocidad de infiltración del agua. Se evalúa considerando la CEa y la relación de adsorción de sodio simultáneamente. Esto hace referencia al efecto floculante de las sales y al efecto dispersivo del sodio. A un valor de RAS dado, la velocidad de infiltración incrementa a medida que la salinidad del agua aumenta.

⁴ El Na tiene un efecto tóxico sobre muchas especies, además de su capacidad para deteriorar las propiedades físicas de los suelos. La Tabla 8 muestra la tolerancia de cultivos al Na. (Las tablas 5-9 se presenta en la segunda parte del artículo)

⁵ Vease Tabla 7: Tolerancia de los cultivos al Cl⁻

⁶ Vease Tabla 9: Tolerancia de los cultivos al B

⁷ N-NO₃ se refiere al nitrógeno nítrico reportado en términos de N elemental.

Tabla 3. Tolerancia de algunos cultivos a las sales (Maas y Hoffman, 1977).

Cultivo	Nivel crítico dS m ⁻¹ (A)	Disminución (%) en el rendimiento / unidad de aumento en la salinidad mas allá del nivel crítico (B)	Clasificación
Alfalfa	2.0	7.3	MS
Almendro	1.5	19.0	S
Aguacate	-	-	S
Albaricoque	1.6	24	S
Algodón	7.7	5.2	T
Arroz	3.0	12	MS
Brócoli	2.8	9.2	MS
Uva	1.5	9.6	MS
Zanahoria	1.0	14	S
Cebada (Grano)	8.0	5.0	T
Caupí	1.3	14	MS
Cebolla	1.2	16	S
Ciruela	1.5	18	S
Dátil	4.0	3.6	T
Espinaca	2.0	7.6	MS
Trigo	6	7.1	MT
Fresa	1.0	33	S
Frijól	1.0	19	S
Limón	-	-	S
Lechuga	1.3	13	MS
Soya	5.0	20	MT
Maní	3.2	29	MS
Maíz Dulce	1.7	12	MS
Naranja	1.7	16	S
Toronja	1.8	16	S
Tomate	2.5	9.9	MS
Pimienta	-	14	MS
Papa	1.7	12	MS
Pasto Bermuda	6.9	6.9	T
Ryegrass perenne	5.6	7.6	MT
Pasto Rhoades	-	-	MS
Pasto Sudán	2.8	4.3	MT
Rábano	1.2	13	MS
Repollo	1.8	9.7	MS
Remolacha	4.0	9.0	MT

S = Susceptible, MS = Medianamente susceptible, MT = Medianamente tolerante, T = Tolerante

trae como consecuencia el deterioro de la estructura del suelo, puesto que a esas saturaciones se presentan los fenómenos de dispersión y expansión los cuales están interrelacionados e influenciados por la sodicidad y las características electrolíticas del agua del suelo. Ambos fenómenos ejercen una marcada influencia sobre la conductividad hidráulica del suelo.

La dispersión promueve el movimiento de partículas al interior de los poros y la disminución del diámetro efectivo de los poros reduciendo la conductividad hidráulica. También puede ocurrir la oclusión total. Este fenómeno se puede presentar a valores de PSI relativamente bajos (entre 10 y 20%).

La expansión de las arcillas también reduce el diámetro de los poros y, por ende, la conductividad hidráulica (CH). Este fenómeno ocurre, generalmente, a valores de PSI mayores de 25%. La dispersión causada por el PSI a valores más bajos que los necesarios para la expansión se atribuye al efecto de la composición de cationes intercambiables sobre la integridad estructural de las partículas de arcilla.

Las partículas motmorilliniticas saturadas con Ca consisten de paquetes de 4 a 6 laminillas agrupadas con un espesor de 9 Å. Estos paquetes reciben el nombre de tactoides. La superficie efectiva del tactoide se limita a las caras superior e inferior y a los bordes. La expansión es restringida debido a que las laminas individuales son mantenidas fuertemente unidas por el Ca^{2+} presente en las posiciones interlaminares del tactoide. A medida que el PSI excede de 15 y se aproxima a 20 se crean fuerzas repulsivas entre tactoides debido a la formación de dobles capas difusas más fuertes, las cuales envuelven el tactoide. De esta manera se favorece la dispersión pero el tactoide permanece intacto hasta que el PSI supera el 25%. Este nivel de saturación de Na es lo suficientemente alto como para saturar todas las superficies exteriores y para promover la entrada del Na^+ al interior desplazando el Ca^{2+} , cuando esto sucede se desarrollan dobles capas difusas en las interlaminas creando las correspondientes fuerzas repulsivas entre cargas de igual signo(+) lo cual causa la ruptura del tactoide en unidades pequeñas. La ruptura total se alcanza a valores de PSI cercanos a 50.

Ambos fenómenos son responsables de reducción en el tamaño de los poros y en el bloqueo de los mismos en suelos con materiales arcillosos y expansibles, pero solamente la dispersión lo es en suelos ricos en minerales no expandibles. La conductividad hidráulica depende del tipo y contenido de arcilla, de la presencia de agentes cementantes especialmente Fe_2O_3 , de la textura, de la conductividad eléctrica y de la RAS.

Por las razones mencionadas los suelos sódicos tienden

a dispersarse y, cuando se humedecen, se tornan pegajosos y difíciles de laborar. Cuando se secan se forman costras duras y la penetración del agua se restringe fuertemente. A causa de su carácter disperso frecuentemente son salinos debido a su mal drenaje.

Puesto que las sales tienen un efecto floculante o agregante su remoción por lavado causa el taponamiento de poros y microporos, por lo cual las técnicas de recuperación generalmente contemplan la construcción de drenajes y la adición de yeso como enmienda: el yeso proporciona Ca^{2+} para el desplazamiento de Na^+ del complejo de cambio y como es un electrolito mantiene la floculación del suelo.

Estimación del efecto del sodio (Uso de las RAS)

Para la predicción de un problema potencial ocasionado por el sodio, se han usado una serie de criterios en el pasado, tales como el carbonato de sodio residual (CSR) y el porcentaje de sodio posible (PSP) (Eaton, 1954; USDA, 1954) propuso el uso de la relación de adsorción de sodio (RAS) cuya ecuación se presenta a continuación:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} \quad (2)$$

Donde:

Na, Ca y Mg se expresan en $\text{cmol}_{(+)} \text{l}^{-1}$.

Esta relación da idea del peligro potencial debido a un exceso de Na sobre el Ca y el Mg. Las investigaciones realizadas por el Laboratorio de Salinidad del USDA, a nivel de campo e invernadero, sobre el equilibrio entre aguas altas en sodio y el PSI han demostrado que la RAS es un índice efectivo del peligro potencial de un agua en equilibrio con el suelo.

La relación RAS-PSI se estableció inicialmente para 59 suelos del Oeste de los Estados Unidos (USDA, 1954). En suelos de la India, Agarwal y Yadav (1956) encontraron que solo el 50% de las muestras analizadas presentaron una buena correlación entre los dos parámetros. García y Castillo (1991) obtuvieron resultados similares (49.7%) en suelos del Valle del Cauca (Colombia) mientras que Groennewegen (1961) encontró que en suelos de Australia hay buena correlación cuando estos tienen valores de pH superiores a 6.5. Para suelos de Israel, Levy y Mor (1965) encontraron que la relación funciona bien.

Esta variabilidad en resultados se puede deber a diferencias en la cantidad y tipo de arcillas y también, puede ser debida al tipo de aniones acompañantes y a la solubilidad de compuestos presentes en los suelos, sin que se puedan descartar efectos del clima.

Tabla 4. Producción relativa de algunos cultivos bajo influencia de salinidad en el agua riego (CEa) o en el suelo (CEe).

	100%		90%		75%		50%		0%	
	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa
Cebada	8.0	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
Algodón	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
Remolacha Azucarera	7.0	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
Sorgo	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
Trigo	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
Soya	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10	6.7
Caupí	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13	8.8
Maní	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Arroz	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6
Caña de Azúcar	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4.0	10	6.8	19	12
Maíz	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Frijol	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Zuchino	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10	6.7	15	10
Remolacha	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15	10
Calabaza	3.2	2.1	3.8	2.6	4.8	3.3	6.3	4.2	9.4	6.3
Brócoli	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14	9.1
Tomate	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13	8.4
Pepino	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10	6.8
Espinaca	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	2.5	8.6	5.7	15	10
Apio	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18	12
Papa	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	5.7
Repollo	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6	12	8.1
Maíz Dulce	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Batata	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11	7.1
Pimienta	1.5	1.0	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
Lechuga	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9.0	6.0
Rabano	1.2	0.8	2.0	1.3	3.1	2.1	5.0	3.4	8.9	5.9
Cebolla	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5.0
Zanahoria	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.0	8.1	5.4
Nabo	0.9	0.6	2.0	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12	8.0
Agropiron	7.5	5.0	9.9	6.6	13	9.0	19	13	31	21
Pasto Bermuda	6.9	4.6	8.5	5.6	11	7.2	15	9.8	23	15
Cebada Forrajera	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.4	13	8.7	20	13
Ryegrass	5.6	3.7	6.9	4.6	8.9	5.9	12	8.1	19	13

Tabla 4. Continuación...

	100%		90%		75%		50%		0%	
	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa
Festuca Alta	3.9	2.6	5.5	3.6	7.8	5.2	12	7.8	20	13
Pasto Sudán	2.8	1.9	5.1	3.4	8.6	5.7	14	9.6	26	17
Caupí Forrajero	2.5	1.7	3.4	2.3	4.8	3.2	7.1	4.8	12	7.8
Alfalfa	2.0	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16	10
Maíz Forrajero	1.8	1.2	3.2	2.1	5.2	3.5	8.6	5.7	15	10
Trébol Alexandrino	1.5	1.0	3.2	2.2	5.9	3.9	10	6.8	19	13
Trébol Rojo	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Trébol Ladino	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Dátil	4.0	2.7	6.8	4.5	11	7.3	18	12	32	21
Toronja	1.8	1.2	2.4	1.6	3.4	2.2	4.9	3.3	8.0	5.4
Durazno	1.7	1.1	2.2	1.5	2.9	1.9	4.1	2.7	6.5	4.3
Albaricoque	1.6	1.1	2.0	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5	5.8	3.8
Vid	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Almendra	1.5	1.0	2.0	1.4	2.8	1.9	4.1	2.8	6.8	4.5
Ciruelo	1.5	1.0	2.1	1.4	2.9	1.9	4.3	2.9	7.1	4.7
Fresa	1.0	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4.0	2.7
Naranja	1.7	1.1	2.3	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2	8.0	5.3

Adaptado de Mass y Hoffman (1977) y Mass (1984)

CEe = Salinidad promedio de la zona radicular determinada como CE del extracto de saturación en decisiemens por metro ($dS\ m^{-1}$) o en milimhos por cm ($mmho\ cm^{-1}$) a 25°

CEa = Salinidad del agua de riego expresada en $dS\ l^{-1}$.

La composición del agua de riego, el manejo del riego y el drenaje (fracción del lavado) y las características del suelo son los tres factores principales que afectan la RAS. Esta relación cuando se expresa según la fórmula usada en el Manual 60 de USDA (1954), no considera los cambios que suceden en la solución del suelo debido a la solubilidad del Ca presente, como resultado de los procesos de dilución o precipitación que tienen lugar rápidamente después de un riego. La precipitación ocurre cuando hay presencia de cantidades suficientes de calcio y de carbonatos, bicarbonatos o sulfatos los cuales, al combinarse y formar carbonato de Ca o yeso, exceden su producto de solubilidad.

La dilución de minerales se ve favorecida por la presencia de CO_2 disuelto en el agua y por remoción de los iones por las plantas o por procesos de lavado. Poco después del riego pueden ocurrir procesos de dilución o precipitación que cambian la concentración de calcio y hacen que se establezca una nueva situación de equilibrio diferente de aquella presente en el agua de riego (Ayers y Wetscot, 1985), mientras tanto, el Na

soluble permanece en equilibrio con el Na intercambiable.

La ecuación (2) usada en el Manual 60 de USDA (1954) no toma en cuenta esos cambios, por lo que se pueden presentar errores en la predicción, razón por la cual esta fórmula y el nomograma para calificación del agua para riego ($C_x S_x$) cayeron en desuso.

Bower y Maasland (1963), propusieron el uso de la RAS ajustada la cual toma en cuenta los procesos de precipitación y dilución mediante la inclusión del índice de saturación de Langelier (1936), el cual considera simplemente que al alcanzar el punto de saturación en presencia de bicarbonatos el calcio se precipitará como $CaCO_3$. Este índice fue diseñado para uso en tuberías que conducen agua caliente y se define como la diferencia entre el pH actual del agua (pHa) y un pH calculado (pHc) del agua en equilibrio con el $CaCO_3$. Se expresa matemáticamente:

$$IS = pHa - pHc \quad (3)$$

Valores positivos indican tendencia del CaCO_3 a precipitar mientras que valores negativos indican tendencia a disolver.

La RAS ajustada se calcula:

$$\text{RAS(aj)} = \text{RAS} \{ 1 + (8.4 - \text{pHc}) \} \quad (4)$$

Donde:

$$\text{pHc} = (\text{pK}_2 - \text{pKc}) + \text{p}(\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{p}(\text{Alk}) \quad (5)$$

pHc = pH del agua en equilibrio con el CaCO_3

pK_2 = Logaritmo negativo de la segunda constante de disociación del H_2CO_3

pKc = Logaritmo negativo de la constante de solubilidad del CaCO_3

$\text{p}(\text{Ca} + \text{Mg})$ = Logaritmo negativo de la concentración equivalente de (Ca Mg)

$\text{p}(\text{Alk})$ = Logaritmo negativo de la concentración equivalente de ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$)

Bower y Maasland (1963) aceptaron un valor de $\text{pHa} = 8.4$, con base de que el suelo tiene más capacidad amortiguadora que el agua, y en que un suelo no sódico que contenga CaCO_3 tiene un pH de 8.4.

Investigaciones más recientes han demostrado que la RAS ajustada según la ecuación 4, sobreestima el peligro de sodificación (Oster y Rhoades, 1977; Oster y Schröer, 1979; y Suárez, 1981). Inicialmente, se sugirió el uso de un factor 0.5 para ajustar el valor obtenido [$\text{RAS}(\text{aj}) \times 0.5$] pero Ayers y Westcot (1985) indican que dicho procedimiento no debe recomendarse en lo sucesivo.

Suárez (1981) propuso un nuevo procedimiento para calcular las RAS que toma en consideración el efecto de las concentraciones de CO_2 y del bicarbonato (HCO_3) y la salinidad (CEa) sobre los procesos de dilución y precipitación del calcio. La ecuación sugerida por Suárez es similar a la inicial así:

$$\text{RAS(aj)} = \text{Na} / \{ (\text{Ca}_x + \text{Mg}) / 2 \}^{1/2} \quad (6)$$

Donde:

Na^+ y Mg^{2+} = Iones presentes en el agua de riego (me l^{-1})

Cax = Valor modificado del calcio tomado de la **Tabla 5**.

Estudios de Laboratorio de Salinidad del USDA han demostrado que tanto la ecuación (2) como la ecuación (6) de Suárez dan valores más reales que la fórmula de la RAS(aj) de Bower y Maasland (1963) (ecuación 4).

Bibliografía

- Agarwal, R.R., and J.S.P. Yadav. 1956. Diagnostic techniques for the saline and alkaline soils of the Indian Gangeic. *J. Soil Sci.* 7:109-121.
- Ayers, R.S., and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage paper 29, FAO, Roma, 156 p.
- Bernstein, L., and L.E. Francois. 1973. Leaching requirements studies: Sensitivity of alfalfa to salinity of irrigation and drainage waters. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37:931-943.
- Bernstein, L. 1967. Quantitative assessment of irrigation water quality. *Amer. Soc. Testing and Materials Spec. Tech. Publ.* 416:51-65.
- Bower, C.A., G. Ogata, and J.M. Tucker. 1968. Sodium hazard of irrigation waters are influenced by leaching fraction and by precipitation of solution of calcium carbonate. *Soil Science* 10:29-34.
- Bower, C.A., and M. Maasland. 1963. Sodium hazard of Punjab ground waters. In symposium of water logging and salinity in West Pakistan. *Erg. Cong.* 50:309 p.
- Eaton, F.M. 1954. Formulas for estimating leaching and gypsum requirements of irrigation waters. *Texas Agr. Exp. Sta. Misc. Publ.* 111.
- FAO. 1976a. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper No 29, Rome.
- FAO. 1976b. Prognosis of salinity and alkalinity. *FAO Soils Bulletin* 31, Rome.
- Groenewegen, H. 1961. Composition of the soluble and exchangeable ions of the salty of the Mirrol irrigation areas (New South Wales). *J. Soil Sci.* 12:129-141.
- Langelier W.F. 1936. The analytical control of anticorrosion water treatment. *J. American Water works Association* 28:1500-1521.
- Levy, R. and E. Mohr. 1965. Soluble and exchangeable cation relations in some soils of Israel. *J. Soil Sci.* 16:290-295.
- Maas, E.V. and C.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance current assessment. *Journal of irrigation and Drainage Division. ASCE, Vol. 103, No. 1R 2. Proc. Paper 12993 June, 1977, pp. 115-134.*
- Maas, E. 1984. Salt tolerance of plants. In: *The Handbook of Plant Science in Agriculture*. B.R. Christie (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Oster, J.D., and J.D. Rhoades. 1977. Various indices for evaluating the effective salinity and sodicity of irrigation waters. In: *Proc. International Salinity Conference, Lubbock, Texas, 16-20 August 1976. pp. 1-14.*
- Oster, J.D., and F.W. Schroer. 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43:444-447.
- Pla, I. 1979. Calidad y uso de agua para riego. *Memorias VI Coloquio de Suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Palmira, 19-21 septiembre 46 p.*
- Rhoades, J.D. 1968. Drainage for salinity control. In: *Drainage for Agriculture. Van Schilfgaarde J. (ed). Amer. Soc. Agron. Monograph No. 17, pp. 433-462.*
- Rhoades, J.D. 1974. Leaching requirement for exchangeable sodium control. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32:652-656.
- Suárez, D.L. 1981. Relation between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage Waters. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45:469-475.
- USDA. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook No. 60 L.A. Richards (ed). 160 p.*

Reporte de Investigación Reciente

Fajas de Beaufils para la estimación del estado nutricional del algodón en la región sur de Mato Grosso

Serra, A.P., M.E. Marchetti, E.P. Roja, y A.C.T. Vitorino. 2012. *Faixas de beaufils para avaliação do estado nutricional do algodoeiro na região sul do Mato Grosso. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 36(1):171-182. ISSN 0100-0683. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100018>.*

La relación entre los tenores de nutrientes y los índices DRIS es una práctica útil para determinar los rangos adecuados de tenores foliares de nutrientes. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar las fajas de Beaufils a partir de modelos estadísticos para la relación entre los tenores foliares y los índices DRIS, generados por dos sistemas de normas DRIS: el valor F y la transformación por logaritmo natural; además de estimar el estado nutricional de un cultivo de algodón, por medio de las fajas de Beaufils. Los datos de productividad, con parcelas promedio de 100 ha, y los tenores foliares de macro y micro nutrientes del algodón (*Gossypium hirsutum* r. *latifolium*), procedente de la cosecha 2004-2005, fueron seleccionados para ser comparados con nuestra base de datos. El criterio para definir la población de referencia consistió de los tallos que presentaban una productividad por encima de + 0.5 desviaciones estándar (4575 kg ha⁻¹ de algodón en cápsula). El modelo estadístico para la relación entre los tenores foliares de los nutrientes y los índices DRIS con el mejor ajuste, fue el modelo lineal con un $R^2 > 0.8090$, $p < 0.01$, con excepción del N, que presentó una $R^2 = 0.5987$, $p < 0.01$. Los dos criterios fueron eficientes para diagnosticar el estado nutricional de la planta; los diagnósticos no fueron realizados al azar, sino basados en la eficacia del método evaluado por el test de Chi cuadrado. La coincidencia entre los métodos, en cuanto a la estimación del estado nutricional, estuvo entre un 92.59 hasta un 100%, con excepción del S, que mostró un 74.07% de coincidencia.

Comparación de los rendimientos de la agricultura orgánica y convencional

Seufert, V., N. Ramankutty, y A.F. Jonathan. 2012. *Comparing the yields of organic and conventional agriculture. Nature 485:229-232. DOI: 10.1038/nature11069.*

En numerosos reportes se ha enfatizado la necesidad de cambios significativos en el sistema global de alimentos: la agricultura debe enfrentar los retos simultáneos de alimentar una población en incremento, con mayores demandas de carne y de dietas altas en calorías, mientras que simultáneamente debe minimizar los impactos ambientales a nivel global. La agricultura orgánica -un sistema destinado a

producir alimentos con un impacto mínimo a los ecosistemas, animales o humanos- se ha propuesto a menudo como una solución. Sin embargo, los críticos argumentan que la agricultura orgánica puede tener rendimientos menores y por tanto podría necesitar mayor tierra para producir la misma cantidad de alimento que las granjas convencionales, resultando en una mayor deforestación y pérdida de biodiversidad, y por tanto en detrimento de los beneficios medioambientales de las prácticas orgánicas. En este trabajo hemos utilizado un meta-análisis comprensivo para examinar el desempeño relativo de los rendimientos tanto orgánicos como convencionales a nivel global. Nuestro análisis de los datos disponibles muestra que, en general, los rendimientos orgánicos son típicamente más bajos que los rendimientos convencionales. Pero estas diferencias en rendimiento son altamente contextuales y dependientes de las características del sitio, y pueden ir desde un 5% de rendimientos más bajos para la agricultura orgánica (leguminosas de secano y perennes en suelos levemente ácidos o alcalinos), rendimientos 13% menores (cuando las mejores prácticas orgánicas se utilizan), hasta un 34% menor (cuando los sistemas orgánicos y convencionales son más comparables). Bajo ciertas condiciones, es decir, uso de buenas prácticas de manejo, variedades particulares de cultivos y condiciones particulares de crecimiento, los sistemas orgánicos pueden prácticamente igualar a los rendimientos convencionales, pero con otras condiciones esto no es posible. Para establecer la agricultura orgánica como una herramienta importante en la producción sostenible de alimentos, los factores que limitan los rendimientos orgánicos deben ser entendidos de una manera más completa, en paralelo con una estimación de los múltiples beneficios sociales y ambientales de los sistemas de agricultura orgánica.



Cursos y Simposios

1. Congreso Mundo Soja Maíz 2012

Organiza : SEMA
Lugar : Buenos Aires, Argentina
Fecha : Julio 3-4, 2012
Información : SEMA
info@mundosojamaiz.com.ar
www.mundosojamaiz.com.ar

2. XX Congreso Apresid 2012 - 20 Veces Sí!

Organiza : AAPRESID
Lugar : Rosario, Argentina
Fecha : Agosto 8-10, 2012
Información : AAPRESID
www.20si.org.ar

3. Congreso de los 100 años de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay

Organiza : Asociación de Ingenieros Agrónomos
Lugar : Montevideo, Uruguay
Fecha : Agosto 23-24, 2012
Información : AIA
aia2012@congresos-rohr.com
www.congresos-rohr.com

4. XIX Conferencia ISTRO y IV Reunión de la Sociedad Uruguaya de la Ciencia del Suelo

Organiza : ISTRO - SUCS
Lugar : Montevideo, Uruguay
Fecha : Septiembre 24-28, 2012
Información : ISTRO - SUCS
Istro2012@congresos-rohr.com
www.congresos-rohr.com

5. XVII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite y Expopalma 2012

Organiza : Fedepalma - Cenipalma
Lugar : Cartagena de Indias, Colombia
Fecha : Septiembre 25-28, 2012
Información : Fedepalma - Cenipalma
acampo@fedepalma.org
www.fedepalma.org

6. XVI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SCCS
Lugar : Riohacha, La Guajira, Colombia
Fecha : Octubre 2-5, 2012
Información : SCCS
scsuelo@cable.net.co
www.sccsuelo.org

7. XXXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo

Organiza : SMCS
Lugar : Zacatecas, México
Fecha : Noviembre 11-16, 2012
Información : SMCS
congreso.smcs@gmail.com
www.smcs.org.mx

8. XIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SECS
Lugar : Cuenca, Ecuador
Fecha : Noviembre 7-9, 2012
Información : SECS
mcalvache@secsuelo.org
calvache@uio.satnet.net
www.secsuelo.org

9. XVII Conferencia Internacional de Conservación de Suelos

Organiza : ISCO
Lugar : Medellín, Colombia
Fecha : Julio 8-12, 2013
Información : ISCO
scsuelo@cable.net.co
www.unalmed.edu.co

10. 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 IPNI-Norte de Latinoamérica

Titulo de la Publicación	Costo (U\$S)
<p>PALMA DE ACEITE: Manejo para Rendimientos Altos y Sostenidos. En el 2003, la oficina para el Sureste de Asia del International Plant Nutrition Institute, logró producir una de las publicaciones de mayor calidad sobre el manejo del cultivo. Es un orgullo para el IPNI presentar ahora una versión del libro en español con el título: “Palma de Aceite: Manejo para Rendimientos Altos y Sostenibles”. El libro cuenta con 15 capítulos del original en inglés y además un nuevo capítulo introductorio con algunas puntualizaciones sobre las particularidades de la producción de palma en América Tropical.</p>	45.00
<p>Uso Eficiente de Nutrientes. Esta publicación resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes.</p>	15.00
<p>Nutrición y Fertilización del Mango. Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.</p>	15.00
<p>Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo</p>	15.00
<p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido.</p>	15.00
<p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo.</p>	15.00
<p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.</p>	15.00
<p>Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del cafeto como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos.</p>	10.00
<p>Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos. Esta publicación ofrece a las personas envueltas en la producción ganadera una visión amplia del potencial productivo, de los requerimientos nutricionales y de los factores limitantes impuestos por el ambiente tropical a la producción de forrajes.</p>	10.00
<p>Nutrición de la Caña de Azúcar. Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña.</p>	8.00
<p>Estadística en la Investigación del Uso de Fertilizantes. Publicación que presenta conceptos actuales de diseño experimental e interpretación estadística de los datos de investigación de campo en el uso de fertilizantes.</p>	6.00
<p>Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en http://nla.ipni.net</p>	