

# Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica

IAH 18 - Junio 2015

Versión Cono Sur

El IPNI, un Socio y Amigo del Sector Palmero en la América Tropical .....	2
Interpretación Foliar y las Relaciones entre Cationes en Banano .....	3
Fertilizantes en línea de siembra de maíz: efectos sobre la implantación y el rendimiento .....	5
Fertilización en trigo: ¿es necesario fertilizar con zinc y cobre en Balcarce? .....	9
Impacto de la fertilización en soja sobre la calidad del grano .....	17
¿Qué sabemos del diagnóstico de azufre en los cultivos de la región pampeana argentina? .....	22
Cursos y Simposios .....	29
Publicaciones Disponibles .....	30



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

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

CUIT: 30-70175611-4 - ISSN 2222-0178

No. de Registro de Propiedad Intelectual: 5190057

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.

Impresión: Grancharoff Impresores  
Tapalqué 5864 - Capital Federal

<http://www.ipni.net>

## En este número

- IPNI, Socio y Amigo del Sector Palmero
- Interpretación Foliar en Banano
- Fertilizantes en Siembra de Maíz
- Fertilización en Trigo
- Impacto de la Fertilización en Soja
- ¿Qué Sabemos del Diagnóstico de S?

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>

## El IPNI, un Socio y Amigo del Sector Palmero en la América Tropical

La palma de aceite es un cultivo en auge en la América Tropical, con una extensión de cerca de 800 000 ha en el 2011 y que posiblemente en la actualidad ya supera el millón de hectáreas en producción desde México hasta el Perú. La palma es un cultivo que puede adaptarse a una serie de condiciones ambientales y del suelo, pero para un rendimiento adecuado y rentable, debe ser manejado con un mínimo de estrés. Un cultivo que sufre de estrés hídrico (inundaciones o sequías), altas o bajas temperaturas o más frecuentemente de una pobre oferta de nutrientes, empieza a protegerse aumentando la proporción de flores masculinas, abortando flores femeninas y reduciendo el tamaño del fruto.

En los casos particulares de Ecuador y Colombia, los productores palmeros se encuentran relativamente bien organizados, con centros de investigación en temas referentes al cultivo que son administrados directamente por los gremios (ANCUPA en Ecuador y FEDEPALMA en Colombia). El IPNI ha logrado iniciar algunas actividades de investigación en el manejo de nutrientes en los dos países involucrando directamente a los gremios en este esfuerzo.

El IPNI-NLA, en colaboración con otras oficinas del Instituto alrededor del mundo, ha gestionado algunas publicaciones para apoyar el manejo adecuado del cultivo, las que resultaron extremadamente populares entre los profesionales y los productores de toda la región. Muchos de estas publicaciones se han presentado en eventos de capacitación en Perú, Ecuador y Colombia.



El Dr. Raúl Jaramillo (izquierda) Director del IPNI-NLA, con el Dr. Luis Prochnow (centro) Director del IPNI Brasil y el Dr. Douglas Laing, especialista retirado del CIAT en una visita a la Cooperativa Agropecuaria Orellana, localidad del estudio en la respuesta a N, K y Mg en palma que se lleva adelante en colaboración con ANCUPA.



El Dr. Paul Fixen (segundo desde la derecha) Vicepresidente del IPNI, visitando los ensayos de manejo de la nutrición del híbrido de palma OxG en la Estación Experimental de CENIPALMA en Colombia.



Diferencias notables en la producción y ramificación de raíces entre el híbrido OxG (izquierda) y los materiales tradicionales Guineensis (derecha). El híbrido OxG puede ser más eficiente en la adquisición de nutrientes, pero requiere cantidades mayores de microelementos.

Las publicaciones en palma de aceite y otros cultivos tropicales se pueden adquirir en las oficinas del IPNI-NLA: <http://nla.ipni.net/article/NLA-3006>



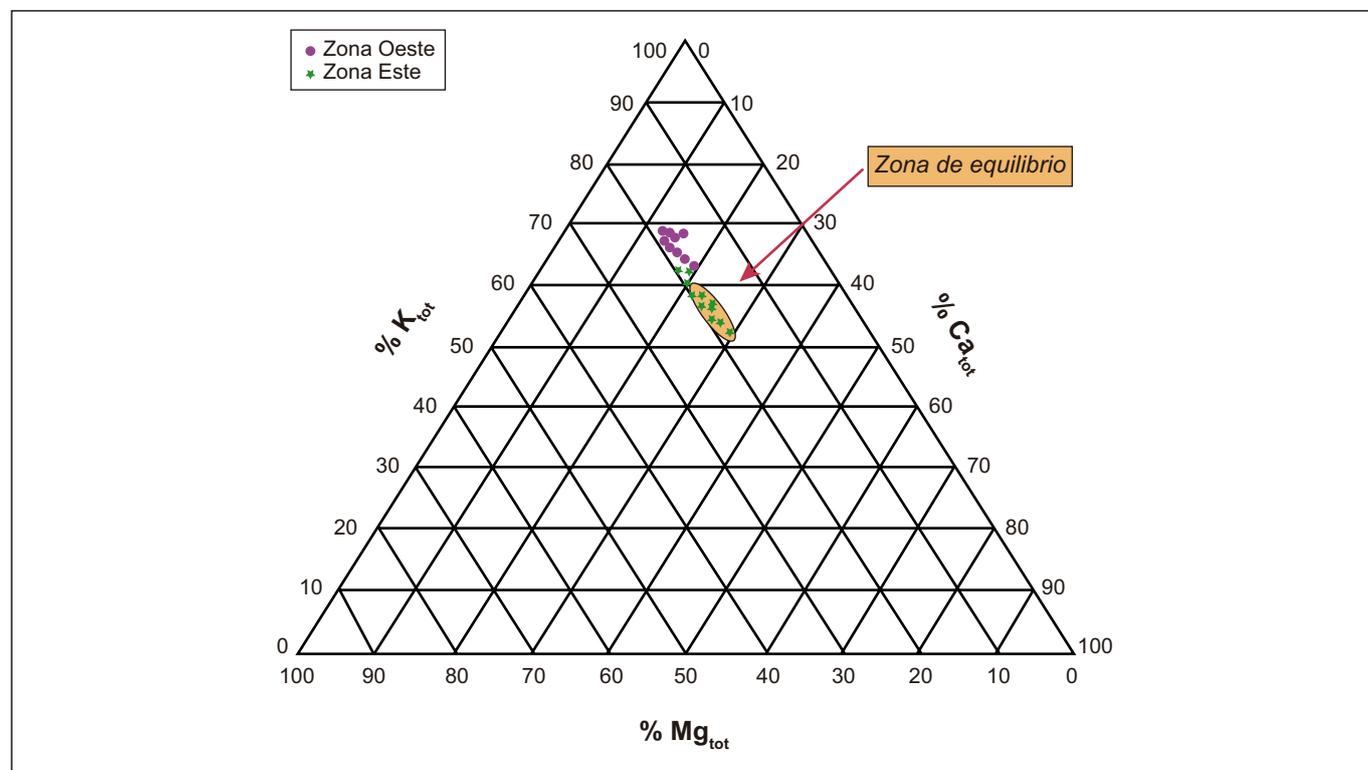
## Interpretación Foliar y las Relaciones entre Cationes en Banano\*

La interpretación de los análisis foliares no debe hacerse teniendo en cuenta solamente un nutriente en particular sino que deben tomarse en cuenta las relaciones entre ellos (Malavolta, 1994). En banano se han documentado antagonismos y sinergismos entre nutrientes que afectan notoriamente el crecimiento y el rendimiento. Lahav y Turner (1992) mencionan que la relación antagónica más estudiada es aquella entre los cationes potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Si la concentración de alguno de estos nutrientes de la planta es muy elevada, se reduce la concentración de los otros, lo que ocasiona problemas en el crecimiento.

En la **Figura 1** se presenta la relación de equilibrio de K-Ca-Mg dentro de la planta de banano. Se considera que existe un adecuado equilibrio cuando los valores de la relación caen dentro de una "zona de equilibrio" que se obtiene al unir los ámbitos de variación del contenido foliar de cada nutriente, en el rango considerado como adecuado. En este caso se usan los valores de 3.0-4.0% para K; de 0.5-1.0% para Ca y de 0.3-0.4% para Mg. Nótese que estos valores están muy próximos a los óptimos de Sánchez y Mira (2013) para Colombia: 3.6-4.0% (K); 0.55-0.75 (Ca) y 0.28-0.33% (Mg). Cuando se calculan los porcentajes relativos sobre el total de cationes en la hoja para cada nutriente, utilizando

los niveles anteriores, se obtienen valores de 55-61% para K; 20-27% para Ca y 18-20% para Mg. Estos son los valores usados para demarcar la zona de equilibrio como se observa en el triángulo de relaciones entre nutrientes.

Con los datos del informe de laboratorio de un análisis foliar se pueden calcular los porcentajes relativos de K-Ca-Mg sobre la suma del total de cationes y ubicar cada valor dentro del triángulo. En la **Tabla 1**, se presenta el cálculo de los valores de equilibrio para dos fincas ubicadas en las zonas bananeras más importantes de Costa Rica. Al ubicar estos valores en el triángulo de relaciones se observa que los valores de la finca de la Zona Este guardan un buen equilibrio en la relación K-Ca-Mg ya que la mayoría de los puntos caen dentro de la zona de equilibrio. En este caso, la planta tiene un excelente estado nutricional, con rendimientos que oscilan entre 2200 hasta de 3000 cajas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Al ubicar los valores calculados de la finca de la Zona Oeste se observa que los puntos se desplazan hacia arriba dentro de la zona de equilibrio como consecuencia de los menores contenidos relativos de Ca y Mg con respecto al K. En estas condiciones se debe poner especial atención a la fertilización con Ca y Mg.



**Figura 1.** Triángulo de relaciones K-Ca-Mg como porcentaje de la suma de cationes totales en el tejido foliar de plantas de banano. La zona de equilibrio corresponde a los valores recomendados de las relaciones K-Ca-Mg. Datos de dos zonas bananeras de Costa Rica.

\* Basado en López y Espinosa. 1995. Manual de Nutrición y Fertilización del Banano. International Plant Nutrition Institute. Quito, Ecuador. pp. 50-51.

**Tabla 1. Cálculo de las relaciones de equilibrio de los contenidos de Ca-Mg-K foliar de dos zonas bananeras de Costa Rica.**

K	Ca	Mg	K	Ca	Mg	Suma	K <sub>tot</sub>	Ca <sub>tot</sub>	Mg <sub>tot</sub>
----- % Materia seca -----			----- cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> * -----			----- % de la suma -----			
<b>Zona Este</b>									
3.1	0.64	0.30	79.3	31.9	24.7	135.9	58.3	23.5	18.2
3.0	0.61	0.28	76.7	30.4	23.0	130.2	58.9	23.4	17.7
3.0	0.65	0.33	76.7	32.4	27.1	136.2	56.3	23.8	19.9
3.1	0.62	0.32	79.3	30.9	26.3	136.5	58.1	22.6	19.3
3.2	0.60	0.32	81.8	29.9	26.3	138.1	59.3	21.7	19.1
3.0	0.67	0.32	76.7	33.4	26.3	136.5	56.2	24.5	19.3
3.5	0.53	0.30	89.5	26.4	24.7	140.6	63.6	18.8	17.5
3.2	0.81	0.37	81.8	40.4	30.4	152.7	53.6	26.5	19.9
2.7	0.61	0.29	69.0	30.4	23.8	123.3	56.0	24.7	19.3
3.1	0.73	0.34	79.3	36.4	28.0	143.7	55.2	25.4	19.5
3.8	0.47	0.26	97.2	23.4	21.4	142.0	68.4	16.5	15.0
4.0	0.52	0.31	102.3	26.0	25.5	153.7	66.5	16.9	16.6
<b>Zona Oeste</b>									
3.8	0.42	0.26	97.2	21.0	21.4	139.5	69.7	15.0	15.3
4.1	0.45	0.31	104.9	22.5	25.5	152.8	68.6	14.7	16.7
3.8	0.42	0.31	97.2	21.0	25.5	143.6	67.7	14.6	17.7
4.7	0.57	0.28	120.2	28.4	23.0	171.7	70.0	16.6	13.4
4.0	0.42	0.28	102.3	21.0	23.0	146.3	69.9	14.3	15.7
4.3	0.49	0.29	110.0	24.4	23.8	158.3	69.5	15.4	15.1
4.3	0.41	0.26	110.0	20.4	21.4	151.8	72.4	13.5	14.1
4.1	0.47	0.30	104.9	23.4	24.7	153.0	68.6	15.3	16.1

\*  $cmol_{(+)}kg^{-1} K = \% K / 0.039$ ;  $cmol_{(+)}kg^{-1} Ca = \% Ca / 0.020$ ;  $cmol_{(+)}kg^{-1} Mg = \% Mg / 0.012$

### Bibliografía

- Lahav, E., y D.W. Turner. 1992. Fertilización del banano para rendimientos altos. 2da Ed. Boletín No. 7. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador. 71 p.
- Malavolta, E. 1994. Diagnóstico foliar: En Silva, F. (Ed) Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control. Soc. Col. Sci. Suelo. Bogotá, Colombia. pp. 59-68.
- Sánchez, J.E., y J.J. Mira. 2013. Principios para la nutrición del cultivo de banano. Augura – Cenibanano. Medellín, Colombia. 236 p.



Foto. Racimos de banano de buen tamaño producto de un vigoroso sistema radical.

# Fertilizantes en línea de siembra de maíz: efectos sobre la implantación y el rendimiento

G.N. Ferraris<sup>1\*</sup>, L.A. Couretot<sup>1</sup> y G. Magnone<sup>1</sup>

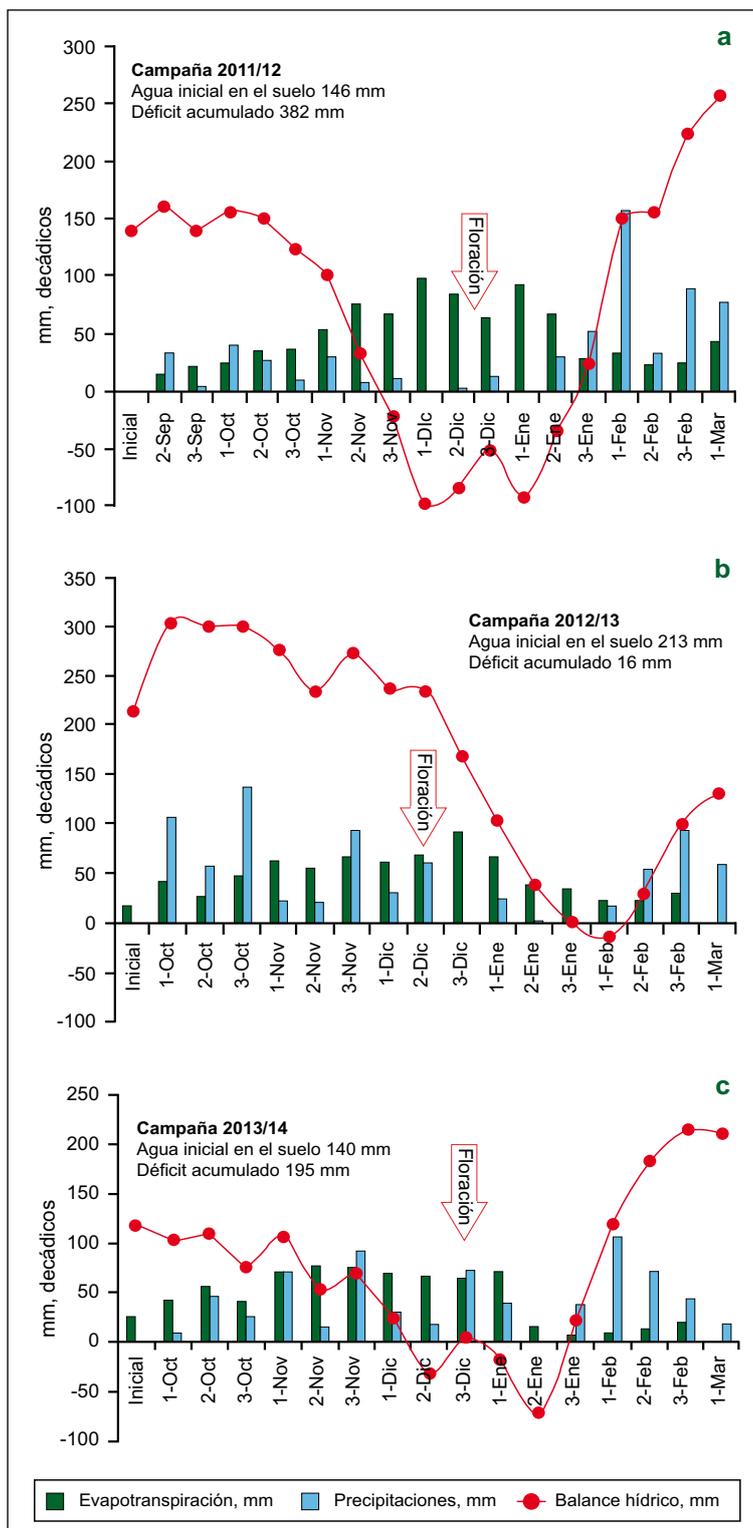
## Introducción

La aplicación de fertilizantes en la línea de siembra junto con la semilla es una práctica riesgosa que puede afectar la implantación de los cultivos, retrasando la emergencia y provocando mermas en la población final de plantas. Son conocidos los efectos sobre la semilla de soja (Ferraris et al., 2004; 2011; Ventimiglia et al., 2005; Vivas y Seffino, 1998) pero hay menos información sobre maíz, el cual podría ser igualmente sensible. Una síntesis de experiencias realizadas en esta especie fue publicada por Ciampitti et al. (2006), quien a partir de ensayos realizados por Barraco et al. (2002) y Fontanetto et al. (Inédito) proponen un rango de 60-80 kg ha<sup>-1</sup> y 130-170 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico (FDA) que determinaría pérdidas de 20 y 50% de las plantas, respectivamente.

Por otra parte, la capacidad de compensar la reducción en la población de plantas sin perder rendimiento a partir del mayor crecimiento de las plantas remanentes depende del cultivo y de las condiciones ambientales durante la estación de crecimiento. En soja, Ferraris et al. (2001; 2004) determinaron que el cultivo logró compensar la reducción en la densidad de plantas sin perder rendimiento bajo un clima favorable, pero no sucedió lo mismo cuando el crecimiento vegetativo ocurrió bajo un fuerte estrés hídrico, durante los meses de diciembre y enero (Ferraris et al., 2012).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de dosis crecientes de fuentes fosforadas sobre la germinación y el rendimiento de maíz, bajo diferentes contenidos de humedad en el suelo al momento de la siembra, y ambientes hídricos contrastantes en la estación de crecimiento. Nuestras hipótesis son que:

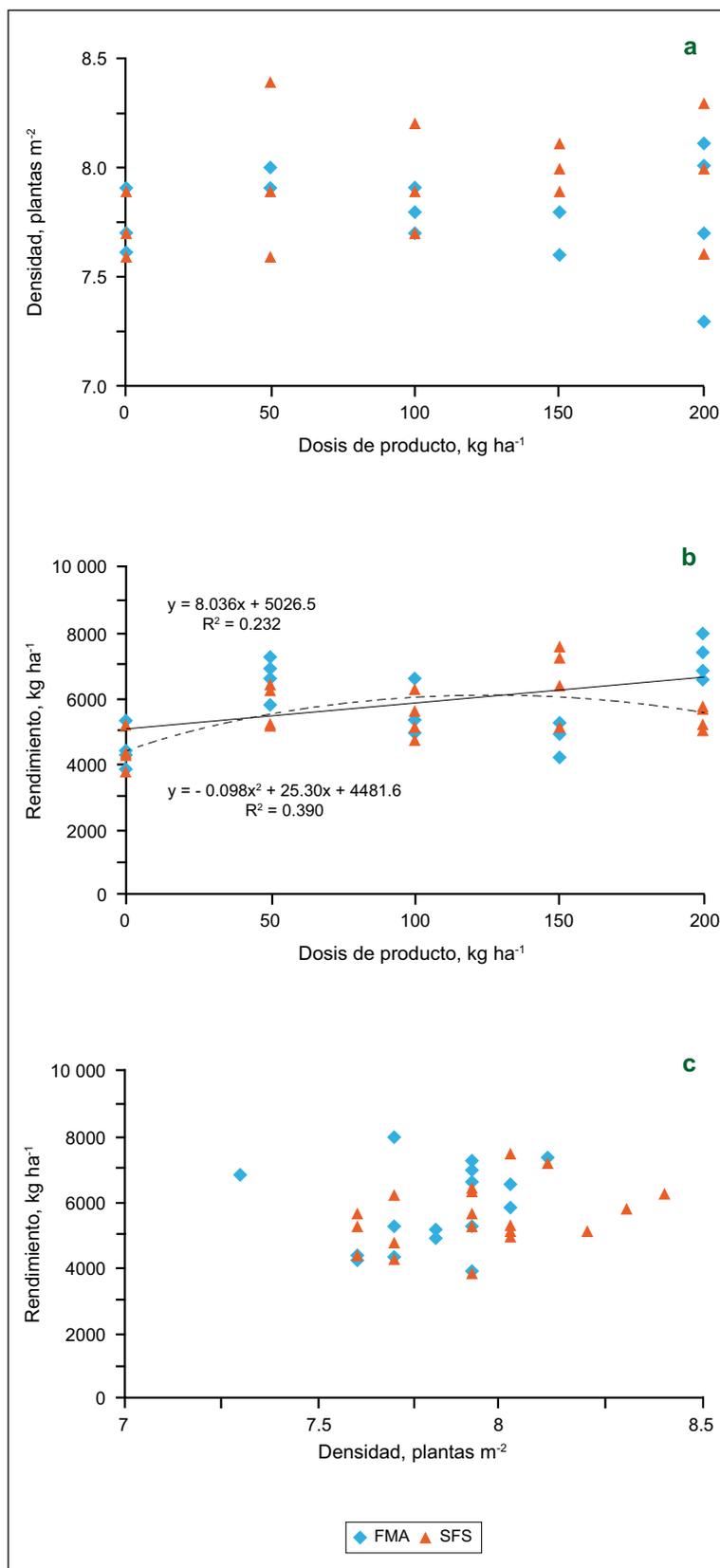
- i Los fertilizantes afectan la emergencia de maíz en grado variable según la fuente, dosis y contenido hídrico del suelo.
- ii Las plantas que logran emerger compensan la reducción sufrida en densidad de plantas a través de un mayor crecimiento por planta.
- iii El balance hídrico durante el ciclo del cultivo es un factor determinante de la capacidad de recuperación del cultivo en términos de rendimiento.



**Figura 1. Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico acumulados (mm) en los sitios experimentales. Pergamino, Bs. As. a) Campaña 2011/12; b) Campaña 2012/13; y c) Campaña 2013/14. Agua disponible inicial en el suelo medida hasta 140 cm. Déficit acumulado = evapotranspiración potencial - evapotranspiración real.**

<sup>1</sup> EEA INTA Pergamino. Av. Frondizi km 4.5 B2700WAA Pergamino, Buenos Aires, Argentina..

\* Autor de Contacto: Correo electrónico: ferraris.gustavo@inta.gob.ar



**Figura 2.** Análisis de las relaciones entre densidad, rendimiento y dosis de fertilizante aplicado. Fuentes: FMA (12-23-0) en rombos y SFS (0-20-0-S12) en triángulos. Campaña 2011/12, humedad a la siembra (0-6 cm) 90% capacidad de campo, con sequía durante el ciclo de cultivo. Dos funciones diferentes en un gráfico indican ecuaciones estadísticamente diferentes entre fuentes ( $p < 0.05$ ). Ausencia de función indica falta de relación entre variables.

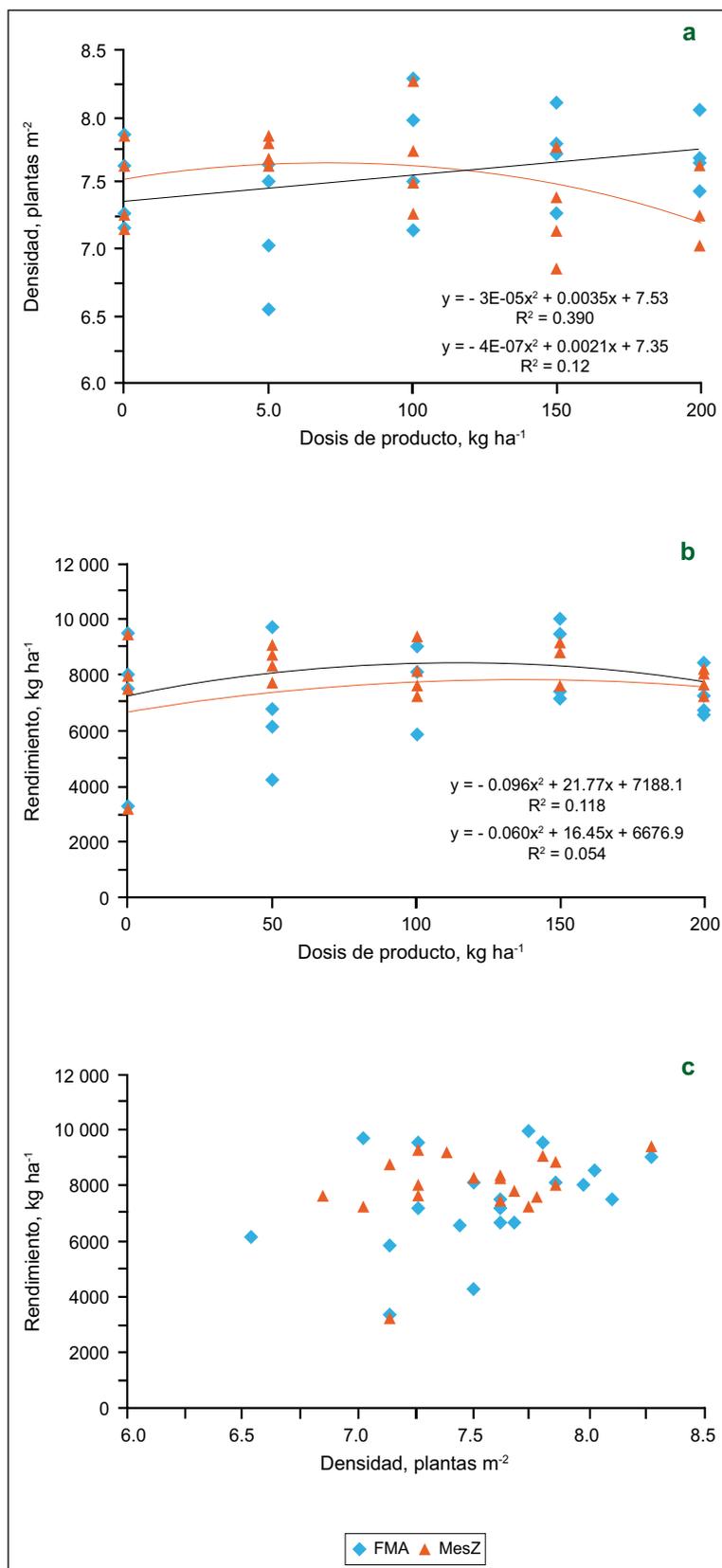
## Materiales y métodos

Durante las campañas 2011/12, 2012/13 y 2013/14 se evaluó la aplicación de dosis crecientes de dos fuentes fosforadas en la línea de siembra junto con la semilla. Durante el primer año se evaluó fosfato monoamónico [FMA, 11-23 (52 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) - 0] y superfosfato simple [SFS, 0-9 (20 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) - 0-S12]; en el segundo se utilizó FMA y MicroEssentials®SZ™ [MesZ, 12-17.5 (40 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) - 0 - S10 - Zn1]; y en el tercer año se compararon MicroEssentials®S10™ [Mes10, 12-17.5 (40 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) - 0 - S10] y MesZ. Para cada fuente, se evaluaron las dosis de 50, 100, 150 y 200 kg ha<sup>-1</sup> de producto comercial. Los ensayos fueron conducidos con un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones en parcelas de 7 m x 4 surcos. La siembra se realizó con una sembradora neumática de siembra directa, en surcos a 0.70 m y densidad de 8 semillas m<sup>-2</sup> las dos primeras campañas, y 9.5 semillas m<sup>-2</sup> para la tercera, respectivamente. El fertilizante fue localizado en contacto con la semilla. El nivel inicial de P Bray-1 en el suelo (0-20 cm) fue de 15.2, 14.7 y 34.2 mg kg<sup>-1</sup> en 2011, 2012 y 2013, respectivamente.

La fertilización nitrogenada fue uniforme y en alta dosis, con el objetivo de no limitar la compensación en las parcelas que sufrieron pérdidas de plantas. En los tres años, se aplicaron 250 kg ha<sup>-1</sup> de urea granulada al voleo al momento de la siembra. En 2011 y 2012, el contenido de humedad de suelo (0-6 cm) a la siembra alcanzaba a 90 y 93% de la capacidad de campo (CC), respectivamente. Adicionalmente, en 2012 ocurrió una lluvia de 90 mm entre siembra y emergencia. Por el contrario, el contenido de humedad fue sensiblemente inferior en 2013 (55% de CC). El número final de plantas se determinó recontando los 28 m lineales de cada parcela (7 m x 4 surcos). La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria y se corrigió el rendimiento a 13% de humedad. Se ajustaron funciones lineales y cuadráticas para relacionar rendimiento, emergencia, y la dosis de fertilizante aplicado.

## Resultados y discusión

Las campañas fueron ambientalmente contrastantes. El ciclo 2011/12 fue extremadamente seco (**Figura 1a**), con un rendimiento medio de 5776 kg ha<sup>-1</sup>. Por el contrario, 2012/13 mostró un clima húmedo favorable (**Figura 1b**), pero el sitio, erosionado y de extremadamente baja fertilidad, sólo alcanzó un rendimiento de 7685 kg ha<sup>-1</sup>. Finalmente, 2013/14 fue un ciclo difícil y cambiante, con temperaturas extremas en plena floración y posteriormente lluvias excesivas (**Figura 1c**). El rendimiento medio fue de 5887 kg ha<sup>-1</sup>.



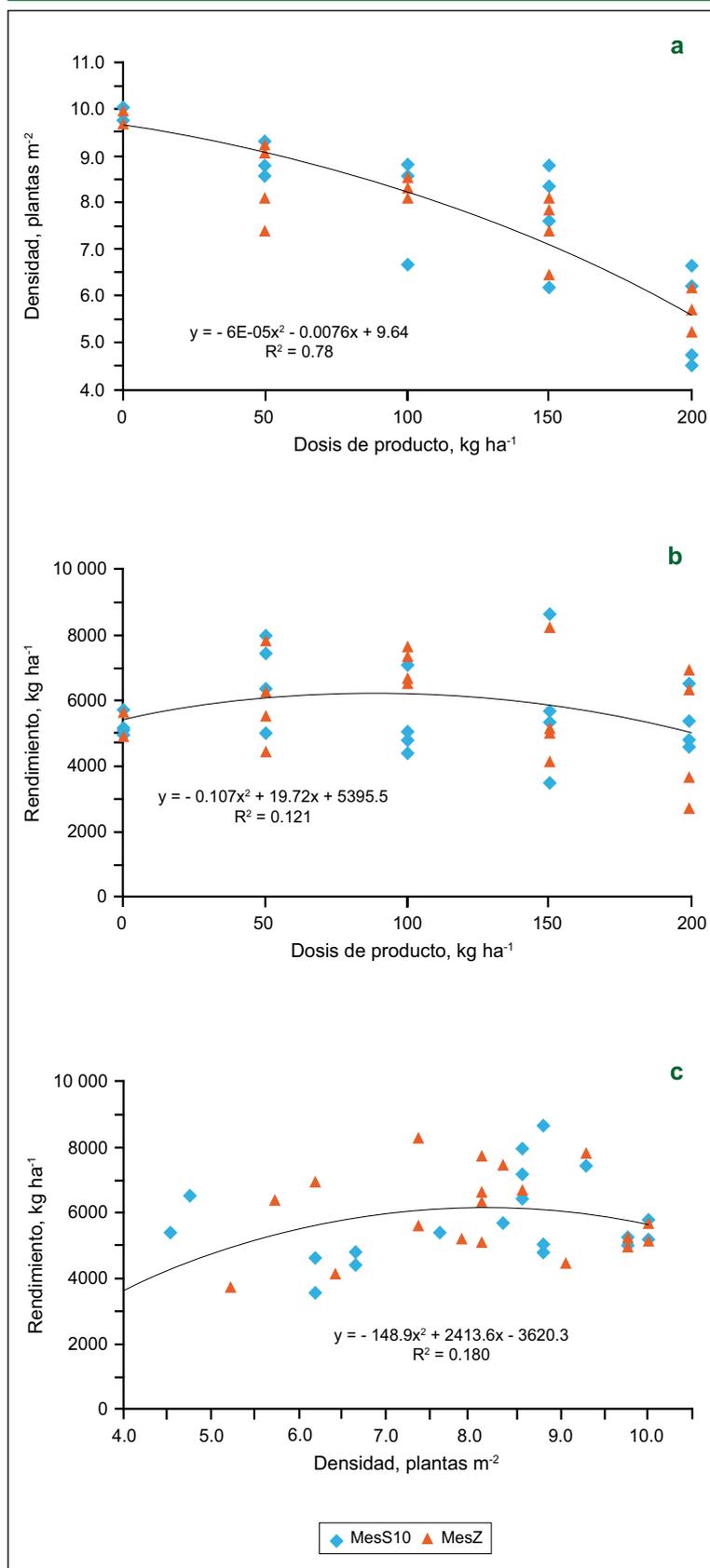
**Figura 3.** Análisis de las relaciones entre densidad, rendimiento y dosis de fertilizante aplicado. Fuentes: FMA (12-23-0) en rombos y MesZ (10-17, 5-0-S10-Zn1) en triángulos. Campaña 2012/13, humedad a la siembra (0-6 cm) 93% CC, sumado a 90 mm de precipitación entre siembra y emergencia. Ciclo de cultivo húmedo. Dos funciones diferentes en un gráfico indican ecuaciones estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ). Ausencia de función indica falta de relación entre variables.

En 2011/12 no se verificaron efectos fitotóxicos significativos para ninguna de las fuentes y dosis evaluadas (**Figura 2a**). A pesar de la sequía durante el ciclo del cultivo, la fertilización incrementó los rendimientos con la tendencia más pronunciada cuando se utilizó FMA (**Figura 2b**). No se determinó relación entre rendimiento y número final de plantas (**Figura 2c**). El comportamiento fue similar en 2012/13, no se determinó reducción significativa en el número de plantas para ninguna de las fuentes y dosis, observando una caída no significativa de sólo el 6% para MesZ, a la dosis de 200 kg ha<sup>-1</sup> (**Figura 3a**). La respuesta a la fertilización fue significativa con ambas fuentes, de acuerdo con una función cuadrática que alcanzó un máximo a la dosis de 150 kg ha<sup>-1</sup>, con tendencia de mayores rendimientos para el fertilizante MesZ, probablemente por un efecto de zinc (Zn) (**Figura 3b**). Nuevamente, no se logró ajustar una función significativa entre rendimiento y densidad lograda (**Figura 3c**). La abundante disponibilidad hídrica en la superficie del suelo a la siembra de los ensayos en los primeros dos años, probablemente diluyó la concentración de amoníaco, disminuyó la presión osmótica de la solución salina alrededor de los fertilizantes y, por ende, evitó la fitotoxicidad. Al no haber una reducción en la densidad de plantas logradas, el rango de esta variable fue estrecho y no se relacionó con el rendimiento.

En el tercer año, 2013/14, por el contrario, el escaso contenido de humedad del suelo (55% CC) modificó esta tendencia, observándose una reducción en la población de plantas, de acuerdo con la función  $y = -6 \times 10^{-5} * \text{dosis}^2 - 0.0076 * \text{dosis} + 9.64$ , común a ambos fertilizantes. Según esta función, la población de plantas se redujo alrededor de 1.4 planta m<sup>-2</sup> para la dosis de 100 kg ha<sup>-1</sup> y 3.9 planta m<sup>-2</sup> para la dosis de 200 kg ha<sup>-1</sup> (**Figura 4a**). En cuanto al rendimiento, la respuesta fue significativa con un máximo en 100 kg ha<sup>-1</sup> para las dos fuentes (**Figura 4b**), dosis a partir de la cual la caída de rendimiento provocada por la menor densidad no pudo ser compensada por el crecimiento adicional de las plantas remanentes. Al crearse un gradiente de densidades, el rendimiento ajustó a ella según una función cuadrática, con un máximo entre 7.5 y 8.5 planta m<sup>-2</sup> (**Figura 4c**).

### Conclusiones

- Bajo condiciones de baja humedad a la profundidad de siembra, los fertilizantes afectaron la emergencia de maíz con la aplicación en línea de dosis superiores a 100 kg de producto comercial.
- El efecto fuente no pudo ser comprobado, dadas las condiciones cambiantes entre años, y



**Figura 4. Análisis de las relaciones entre densidad, rendimiento y dosis de fertilizante aplicado. Fuentes: MesS10 (10-17, 5-0-S10) en rombos y MesZ (10-17, 5-0-S10-Zn1) en triángulos. Campaña 2013/14, humedad a la siembra (0-6 cm) 55% CC. Condiciones cambiantes de humedad durante el ciclo de cultivo. Dos funciones diferentes en un gráfico indican ecuaciones estadísticamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Por el contrario, una función única indica ausencia de diferencias en el comportamiento de las fuentes ( $p > 0.05$ ).**

la similitud de las fuentes en el tercero, cuando los efectos fitotóxicos fueron más severos.

- Si bien en una situación de reducción de la población de plantas la fertilización favorecería el crecimiento de las plantas remanentes y su productividad, con las dosis más altas esta compensación no fue suficiente para contrarrestar la merma de rendimiento provocada por una baja densidad.
- La fertilización fosforada es una herramienta de gran potencial para incrementar los rendimientos de maíz en suelos con baja y media disponibilidad de P, pero deben evitarse las aplicaciones de dosis elevadas junto a la semilla en condiciones de bajo contenido de humedad de suelo a la siembra.

### Bibliografía

- Barraco, M., y M. Díaz-Zorita. 2002. Efecto de la localización de fertilizantes fosfatados sobre la emergencia de cultivos de verano. XVIII Cong. Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn (Chubut, Argentina). En CD.
- Ciampitti I.A., H. Fontanetto, F. Micucci, y F.O. García. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos fitotóxicos. Informaciones Agronómicas Nº 31, Archivo Agronómico Nº 10. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Ferraris, G.N., y L.A. Couretot. 2012. Fitotoxicidad y eficiencia de fertilizantes fosforados aplicados en línea de siembra de soja. Revista Técnica en SD. Soja. Sep. 2012: ISSN 1850-0633. AAPRESID.
- Ferraris, G., N. González, D. Bocanegra y A. Rivoltella. 2004. Eficiencia y fitotoxicidad de fuentes de fertilizantes fosforados en soja. Soja, Resultados de Unidades demostrativas del Proyecto Regional Agrícola. Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino y General Villegas. pp. 53-62.
- Ventimiglia, L.A., y H.G. Carta. 2005. Soja: Efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento. Inf. Agron. 28:23-25. INPOFOS Cono Sur.
- Vivas H., y F. Seffino. 1998. Localización del P, dosis y fuentes sobre el número de plantas de soja. Campaña 1996-97. Soja. EEA INTA Rafaela. Publicación Miscelánea Nº 86.

# Fertilización en trigo: ¿es necesario fertilizar con zinc y cobre en Balcarce?

P.A. Barbieri<sup>1,2,\*</sup>, H.E. Echeverría<sup>1</sup>, H.R. Sainz Rozas<sup>1,2</sup>, J.P. Martínez<sup>1</sup>, J.L. Velasco<sup>2</sup>, y N.I. Reussi Calvo<sup>1,3</sup>

## Introducción

El trigo es el principal cereal de invierno de los sistemas productivos del sudeste bonaerense (región Triguera IV). Esta región es una de las más importantes para la producción de trigo, dado que contribuye con un 23.3% al área total sembrada del país (1.2 millones de has) y con un 32.8% de la producción nacional (4.2 millones de toneladas) (SAGPyA, 2006).

En el sudeste bonaerense, la intensificación de la actividad agrícola y la falta de rotaciones con pasturas ha producido una notable disminución de los niveles de materia orgánica (MO), con reducciones cercanas al 37% en el contenido de MO de respecto de la condición prístina (Sainz Rozas et al., 2011). Estas caídas en los niveles de MO explicaría la respuesta generalizada al agregado de nitrógeno (N) (Echeverría y Sainz Rozas, 2005), fósforo (P) (Sainz Rozas y Echeverría, 2008) y, en menor medida, a azufre (S) (Urricarriet y Lavado, 1999; Reussi Calvo et al., 2008).

Las deficiencias de micronutrientes son menos frecuentes que para el caso de N, P y S en los suelos de la región pampeana, ya sea por la menor magnitud de la deficiencia o por la falta de investigación en la temática (Fontanetto et al., 2009). Más allá de ser requeridos en pequeñas cantidades para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, los micronutrientes pueden ser deficientes en el suelo y limitar las funciones metabólicas de las plantas. Por lo tanto, la exportación continua de micronutrientes sin reposición podría originar deficiencias de los mismos y respuestas positivas a la fertilización.

La agricultura moderna de alta producción incrementa la tasa de extracción tanto de macro como de micronutrientes (Cruzate y Casas, 2009). El incremento de la frecuencia del cultivo de soja en las rotaciones agrícolas podría afectar negativamente el balance de micronutrientes en el suelo, ya que dicho cultivo exporta mayores cantidades que el trigo o maíz. Considerando la disminución en el contenido de MO de los suelos del sudeste bonaerense respecto a situaciones prístinas, el incremento de la frecuencia de soja en la rotación, la falta de reposición de micronutrientes y los aumentos de rendimiento de los cereales y oleaginosos no leguminosos, es altamente probable que, a mediano plazo, las deficiencias de micronutrientes se acentúen.

Otro factor que afecta la disponibilidad de micronutrientes para los cultivos es el sistema de labranza. La siembra directa (SD) ha provocado cambios en el ambiente

suelo como consecuencia de la estratificación de la MO y cambios en el pH. Lavado et al. (2001) determinaron mayor estratificación de zinc (Zn) en SD en los primeros 5 cm respecto de labranza convencional (LC), mientras que la concentración de cobre (Cu) no mostró tendencia a la estratificación y fue significativamente superior bajo LC respecto de SD (Lavado et al., 1999). Por otra parte, la menor temperatura del suelo bajo SD respecto de LC, afecta la difusión de los nutrientes hacia las raíces de la plantas. Esta situación podría ser más crítica para Zn que para Cu, debido a que la absorción de Zn está más afectada por la temperatura del suelo (Moraghan y Mascagni, 1991).

Si bien trabajos realizados en condiciones de invernáculo en la década del 80 por Echeverría y Navarro, (1983) no determinaron deficiencias de micronutrientes en el sudeste bonaerense, teniendo en cuenta el contexto productivo actual, surge la necesidad de explorar la respuesta de los cultivos a la fertilización con dicho nutrientes. Eyherabide et al. (2012a; 2012b) determinaron, en un relevamiento realizado en 2010 y 2011 en el sudeste bonaerense en suelos con más de 15 años de agricultura y bajo condición pseudo-prístina (**Figura 1**), que los niveles de Cu en suelo se encuentran por encima de los umbrales críticos (0.12-0.25 mg kg<sup>-1</sup> sugerido por Sims y Johnson, 1991), determinándose una disminución del 16% respecto de la situación prístina. Sin embargo, para el caso del Zn, se determinó que los niveles en suelos bajo agricultura han disminuido notablemente respecto de la situación prístina, siendo los valores cercanos a los umbrales de deficiencia mencionados en la bibliografía (0.8-1.0 mg kg<sup>-1</sup> sugerido por Sims y Johnson, 1991). Además, la disminución del contenido de Zn por efecto de la agricultura fue de aproximadamente el 65%.

Las deficiencias de Zn y Cu afectan el metabolismo del N y por lo tanto el contenido de clorofila. Una forma de caracterizar este compuesto es por medio del Minolta SPAD<sup>®</sup> 502 a través de la cuantificación del verdor de la hoja (Waskom, 1996), lo que sería de utilidad considerando que es una determinación no destructiva, rápida y fácil de utilizar.

Además de los efectos sobre el rendimiento del trigo, el estado nutricional del cultivo también tiene efectos sobre su calidad panadera. En tal sentido, el N y el S son los nutrientes que con mayor frecuencia condicionan la obtención de contenidos adecuados de proteína en los granos de trigo. Si bien existen algunos reportes del efecto de la fertilización con Zn y Cu sobre el contenido

<sup>1</sup> Unidad Integrada Balcarce: EEA INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP), CC. 276, (7620). Balcarce, Argentina.

<sup>2</sup> McCain Argentina.

<sup>3</sup> Laboratorio de suelos FERTILAB.

\* Autor de contacto. Correo electrónico: barbieri.pablo@inta.gob.ar

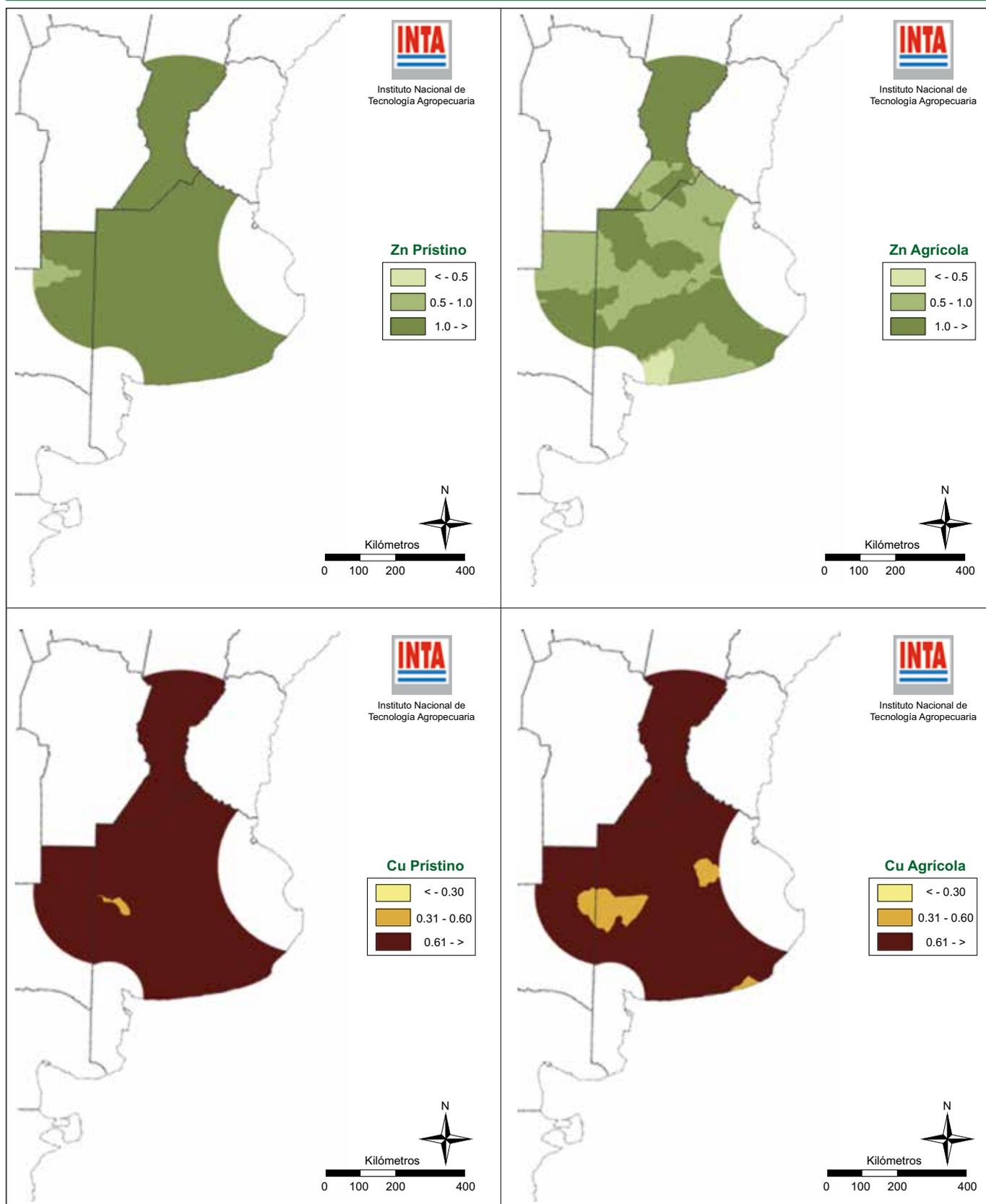


Figura 1. Niveles de Zinc (Zn) y cobre (Cu) extractable ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) (DPTA) en suelos prístinos y agrícolas en algunas zonas de la región pampeana argentina. Adaptado de Sainz Rozas et al. (2013).

de proteína (Campbell, 1989; Schmidt y Szakál, 2007), se desconocen tales efectos a nivel local. El objetivo del presente trabajo fue analizar para distintos sistemas de labranza (SD y LC), el efecto de la fertilización continuada con Zn y Cu sobre la acumulación de biomasa aérea, el índice de verdor, el rendimiento y el contenido de proteína en grano del cultivo de trigo.

### Materiales y métodos

La experiencia se llevó a cabo durante las campañas agrícolas 2003 y 2010 en la EEA INTA Balcarce sobre un ensayo de larga duración llevado a cabo por el Grupo Relaciones Suelo-Cultivo de la Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias EEA INTA Balcarce desde

**Tabla 1. Algunas características químicas del suelo a la siembra del cultivo de trigo en 2003 y 2010.**

Tratamiento	pH	P mg kg <sup>-1</sup>	MO %	Cu		Zn		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kg ha <sup>-1</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> kg ha <sup>-1</sup>
				0-20 cm		0-60 cm			
<b>2003</b>									
LC	5.9	20.9	5.3	1.07	1.53	62.6	69.2		
SD	5.9	21.5	5.3	1.03	1.72	62.1	68.7		
Testigo	6.0	16.7	5.3	0.95	1.40	62.6	72.1		
NPS	5.9	23.7	5.4	1.03	1.45	59.5	67.6		
NPS+Zn+Cu	5.9	22.7	5.2	1.18	2.03	64.9	67.1		
<b>2010</b>									
LC	6.1	22.8	4.5	1.12	1.38	77.6	25.8		
SD	6.0	24.8	4.7	1.10	1.72	63.5	20.8		
Testigo	6.2	11.9	4.7	1.10	1.75	67.2	15.8		
NPS	6.1	28.3	4.3	1.15	1.45	68.8	25.8		
NPS+Zn+Cu	6.0	25.1	4.7	1.08	1.45	75.6	28.3		

2001. El suelo del sitio experimental es un complejo Paleudol Petrocálcico y Argiudol Típico, con pendiente menor al 2% y textura superficial franca y contenido de MO al inicio del ensayo de 5.3%. El lugar donde se encuentra emplazado el ensayo cuenta con una prolongada historia agrícola (mayor a 50 años). La rotación en estudio incluye cuatro cultivos en tres años (maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda) y se la puede considerar como representativa de los sistemas agrícolas intensivos de la zona. Esta experiencia corresponde al cultivo de trigo en el tercer y décimo año de la rotación con antecesor soja.

Se evaluaron dos sistemas de labranza (LC y SD) asignados a las parcelas principales y tres tratamientos de fertilización en las subparcelas: Testigo, NPS y NPS+Zn+Cu. Las dosis de nutrientes fueron 80 N, 20 P, 10 S, 0.5 Zn, y 0.5 Cu en kg ha<sup>-1</sup> en 2003, y 120 N, 30 P, 15 S, 0.5 Zn, y 0.5 Cu en kg ha<sup>-1</sup> en 2010. Los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y azufrados fueron aplicados a la siembra, mientras que el Cu y Zn en forma foliar al macollaje. Estos tratamientos se aplican todos los años en la misma parcela desde 2001, por lo que se evalúa el efecto acumulado de las aplicaciones desde el inicio del ensayo. Las variedades de trigo utilizadas fueron 'Buck sureño' y 'Biointa 1000' sembradas en la segunda quincena de julio en las estaciones de crecimiento 2003 y 2010, respectivamente.

En ambos cultivos de trigo, se tomaron muestras de suelo al momento de la siembra y se determinó, en todos los tratamientos, el contenido de MO, pH (1:2.5), P Bray y el contenido de Cu y Zn (DTPA) en superficie (0-20 cm) y de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> en el perfil (0-60 cm) (Tabla 1). Adicionalmente, durante el ciclo de ambos

cultivos se llevaron a cabo muestreos de plantas para determinar la acumulación de materia seca (MS) al macollaje, antes y madurez fisiológica (MF). En el estadio de hoja bandera, se efectuó la medición del índice de verdor (IV) mediante el uso del medidor de clorofila Minolta SPAD® 502 (MINOLTA, Kioto, Japón) realizando 15 lecturas por unidad experimental.

En MF se determinó el rendimiento. Las espigas fueron desgranadas en una trilladora estacionaria y el rendimiento se expresó al 14% de humedad. La determinación del N total en MS se realizó por el método de Dumas. En base a estos resultados se calculó el N total absorbido por el cultivo en planta entera como el producto entre la MS y el N total en la misma. El contenido de proteína fue estimado a partir del N total en grano empleando un factor de 5.7 (Rhee, 2001).

## Resultados y discusión

### Características climáticas

Las precipitaciones registradas de julio a diciembre fueron 586 y 411 mm en 2003 y 2010, respectivamente, cuyos valores son superiores a los requerimientos hídricos del cultivo de trigo (aprox. 380-400 mm). Por tal motivo, la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo fue adecuada para un normal desarrollo (Figura 2).

### Variables de suelo

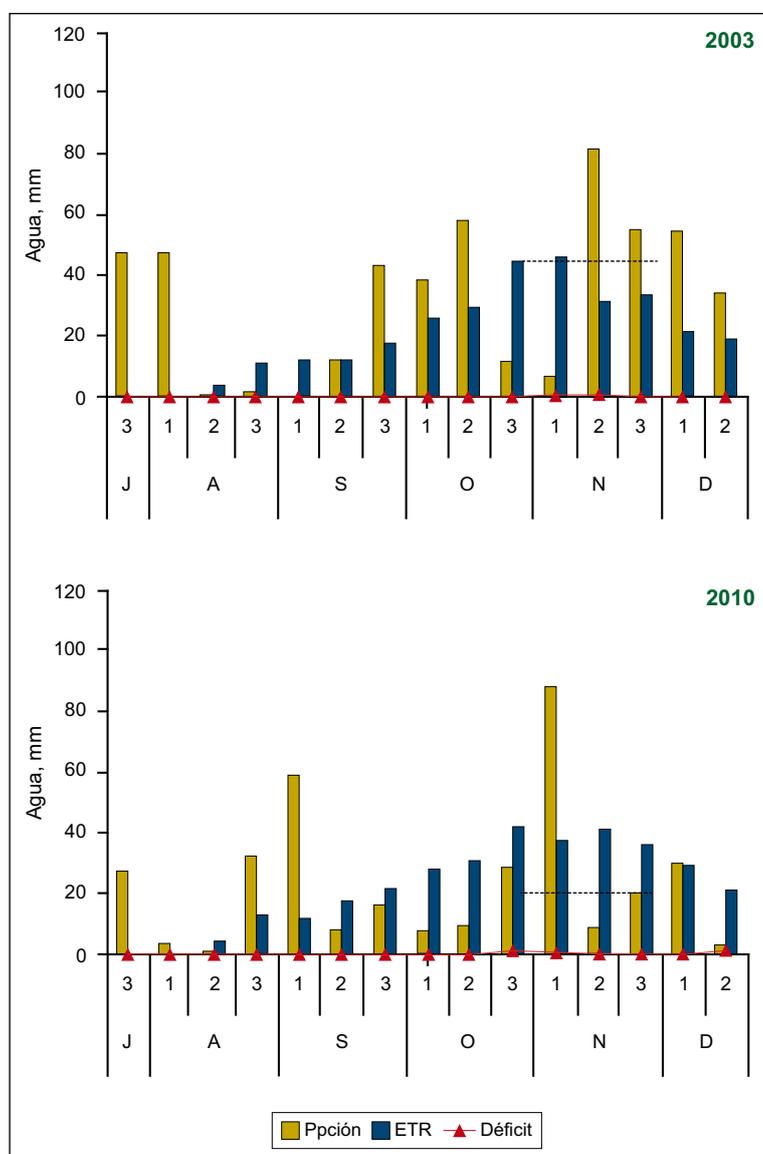
Los valores de pH fueron de 5.9 a 6.3 (Tabla 1), este rango de valores está dentro del reportado como adecuado para el crecimiento del cultivo (Mc Lean, 1982). Considerando el promedio de años y tratamientos fertilizados en la capa de 0-20 cm el contenido de P fue de 25.0 mg kg<sup>-1</sup> (Tabla 1), valor superior al umbral

(15 mg kg<sup>-1</sup>) sugerido por Calviño et al. (2002). Sin embargo, en el tratamiento Testigo, el contenido de P fue levemente inferior al umbral de respuesta (14.3 mg kg<sup>-1</sup>) y en consecuencia la disponibilidad de P, podría haber afectado en alguna medida, el crecimiento del cultivo. Los porcentajes de MO oscilaron entre 4.3 y 5.4% sin diferencias entre sistemas de labranza ni tratamientos de fertilización (**Tabla 1**). Estos valores de MO son característicos de lotes con prolongada historia agrícola de la zona (Studdert y Echeverría, 2000).

El contenido de Zn en 2010 mostró mayores valores bajo SD respecto a LC (**Tabla 1**) (1.72 y 1.46 mg kg<sup>-1</sup> para SD y LC, respectivamente). Por otra parte, el contenido de Zn fue mayor para los tratamientos que recibieron la aplicación de este micronutriente en la estación de crecimiento 2003 (**Tabla 1**). En ambos años, el contenido de Cu fue similar entre sistemas de labranza (1.07 y 1.09 mg kg<sup>-1</sup> para SD y LC, respectivamente) y

tratamientos de fertilización. Estos resultados son similares a los informados por Lavado et al. (1999 y 2001) quienes determinaron mayor concentración de Zn en SD y mayores contenidos de Cu en LC. En ambos años, los contenidos de Zn y Cu en suelo (**Tabla 1**) fueron superiores a los umbrales de deficiencia mencionados en la bibliografía (Sims y Johnson, 1991).

La disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a la siembra del cultivo de trigo fue elevada en las dos estaciones de crecimiento (**Tabla 1**), lo que se debería al efecto del cultivo de soja como antecesor. La disponibilidad de N no habría limitado el rendimiento del cultivo en los tratamientos fertilizados dado que el contenido inicial de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> más lo aplicado como fertilizante supera al umbral de respuesta (140 kg de N ha<sup>-1</sup>) sugerido para la zona (Barbieri et al., 2009). Sin embargo, en el tratamiento Testigo, la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> estuvo por debajo de dicho umbral de respuesta.



El contenido de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> hasta los 60 cm de profundidad fue diferente entre años, determinándose mayores contenido de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> durante la estación de crecimiento 2003 respecto de 2010 (69 y 23 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). La concentración promedio de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> para 0-20 cm de profundidad fue de 8.5 y 4.8 mg kg<sup>-1</sup> en 2003 y 2010, respectivamente. Estos valores se encuentran por debajo del umbral de 10 mg kg<sup>-1</sup> (Johnson y Fixen, 1990). Por lo tanto, las marcadas diferencias en el contenido de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> entre las estaciones de crecimiento serían debidas al contenido de dicho nutriente en profundidad (20-60 cm), ya que si bien se determinaron diferencias en los primeros 20 cm, las mismas no fueron de gran magnitud. Estos resultados, demuestran la importancia de cuantificar el contenido de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> en profundidad al momento de diagnosticar las deficiencias de S en trigo en la zona (Reussi Calvo et al., 2009).

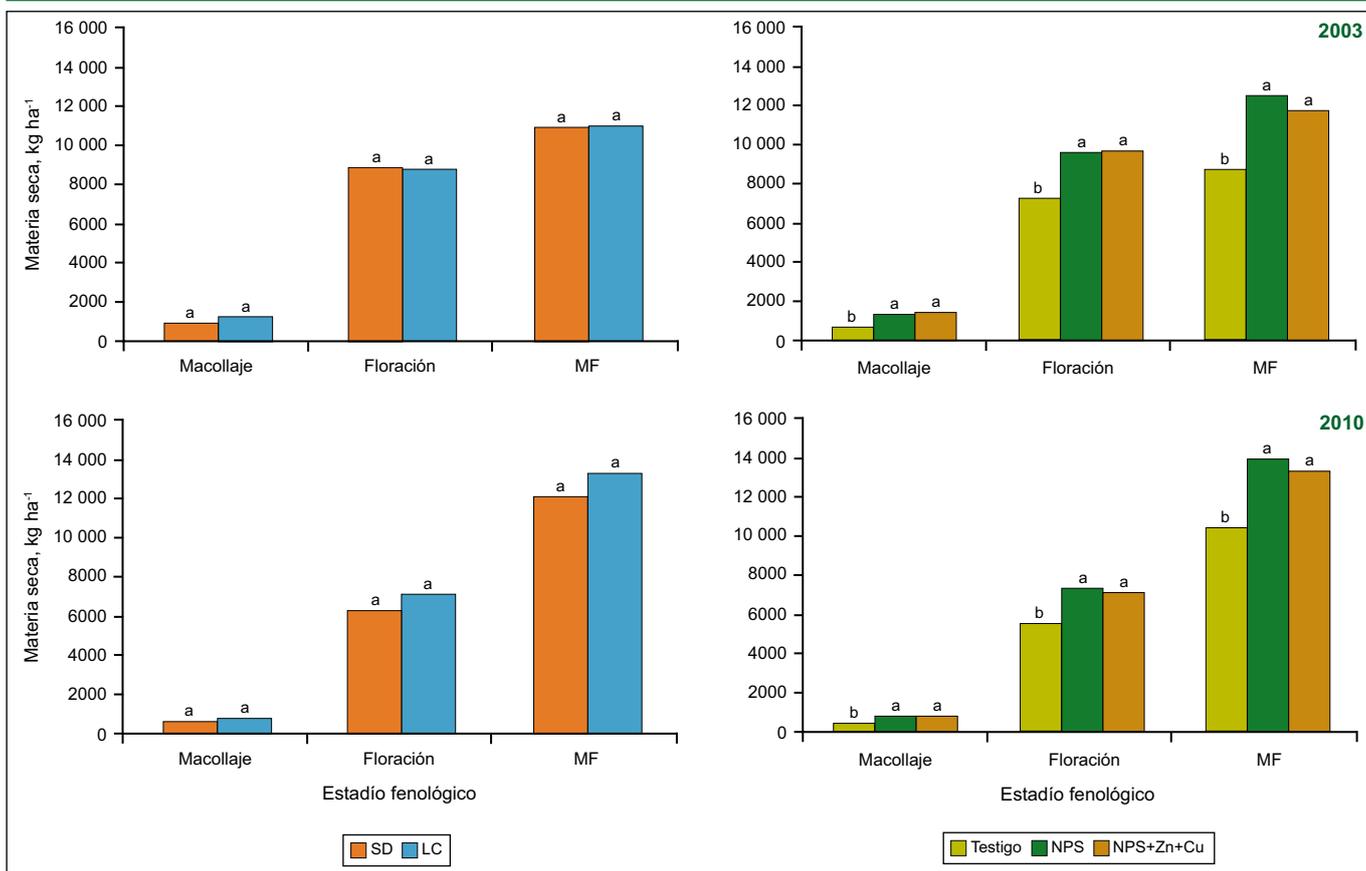
### Variables de cultivo

En ambos años no se detectó interacción entre los factores de tratamiento para las variables de cultivo, por lo tanto se analizaron los efectos principales: por un lado, sistema de labranza (SD y LC), y por el otro, los tratamientos de fertilización (Testigo, NPS y NPS+Zn+Cu).

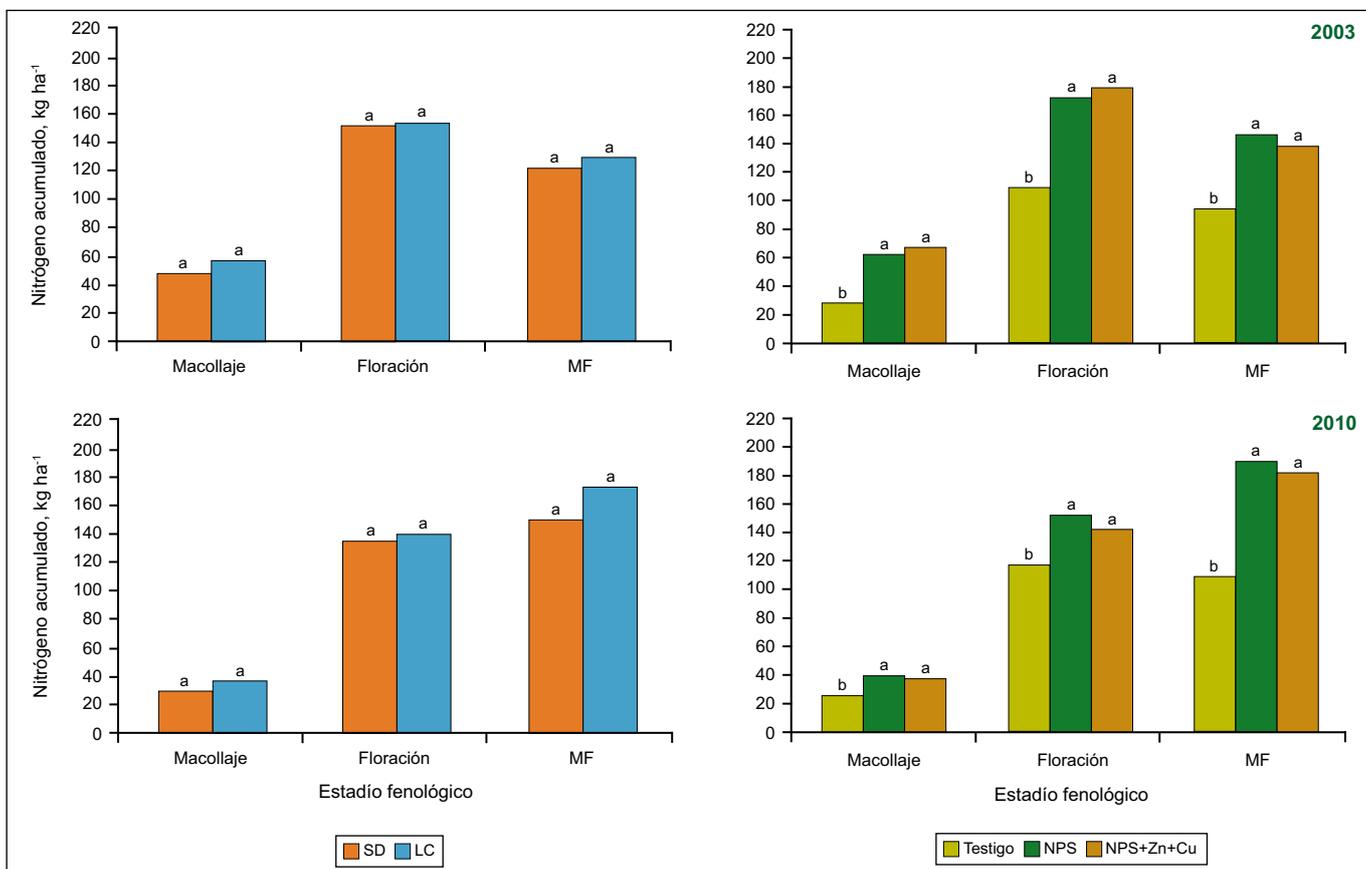
### Acumulación de materia seca aérea

El sistema de labranza y la aplicación de Cu más Zn no produjeron cambios significativos de la MS acumulada en ninguno de los estadios fenológicos evaluados (**Figura 3**). Dentro de cada año, solo se determinaron diferencias significativas del tratamiento Testigo respecto de los fertilizados. El incremento en la MS, promedio de años y momentos de muestreos, por la aplicación de NPS fue del 46% (**Figura 3**). En cuanto a la aplicación de Cu más Zn, el incremento promedio a través

**Figura 2.** Precipitaciones (Ppcción), evapotranspiración real (ETR) y déficit de agua para el cultivo de trigo para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Las líneas punteadas indican el momento de ocurrencia del periodo crítico para la formación de granos.



**Figura 3. Materia seca aérea del cultivo de trigo en función del sistema de labranza y los tratamientos de fertilización para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) según el test de DMS. MF = madurez fisiológica.**



**Figura 4. Nitrógeno acumulado en biomasa aérea del cultivo de trigo en función del sistema de labranza y los tratamientos de fertilización para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) según el test de DMS. MF = madurez fisiológica.**

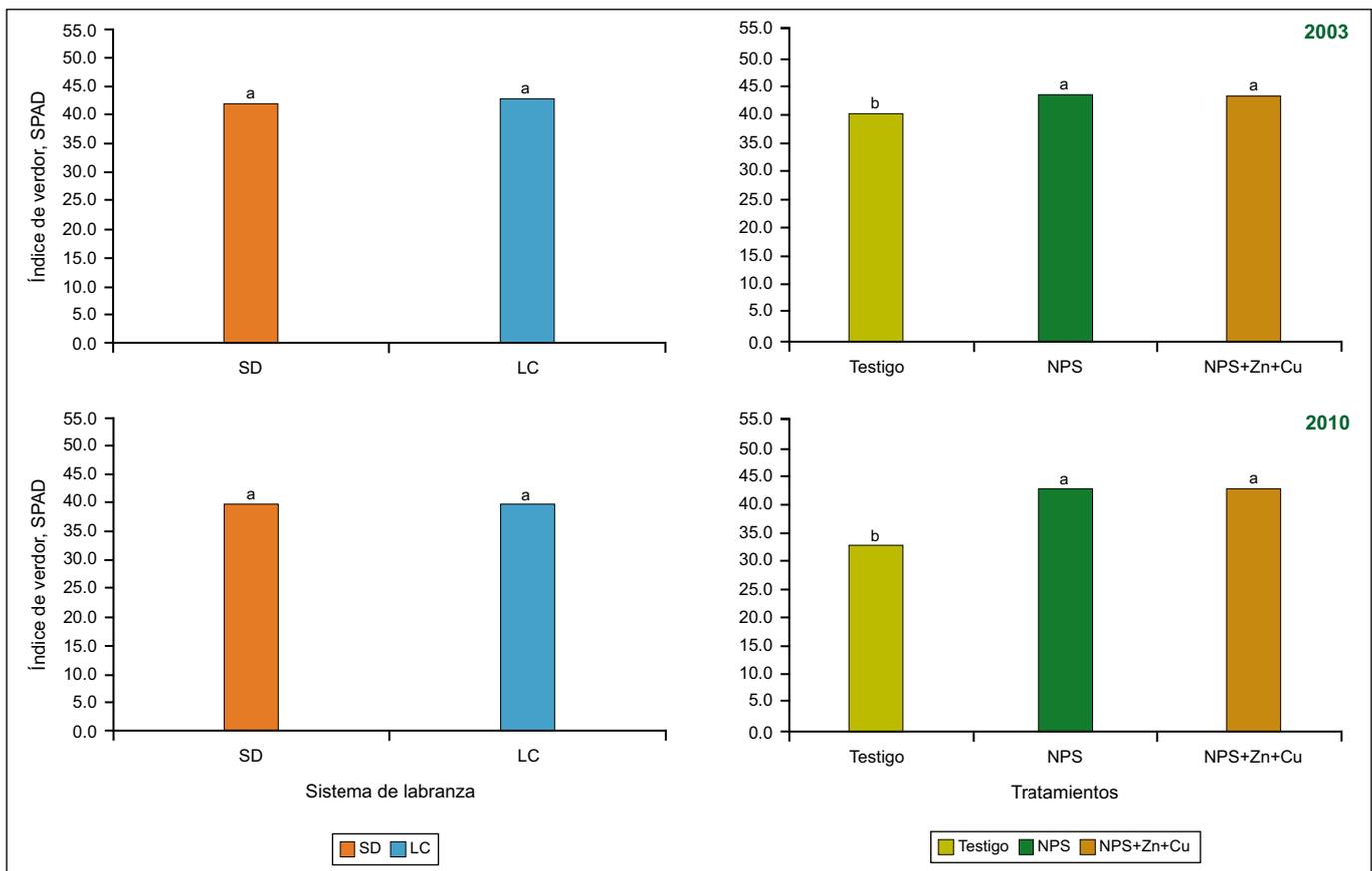


Figura 5. Índice de verdor al estadio de hoja bandera en el cultivo de trigo en función del sistema de labranza y los tratamientos de fertilización para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) según el test de DMS.

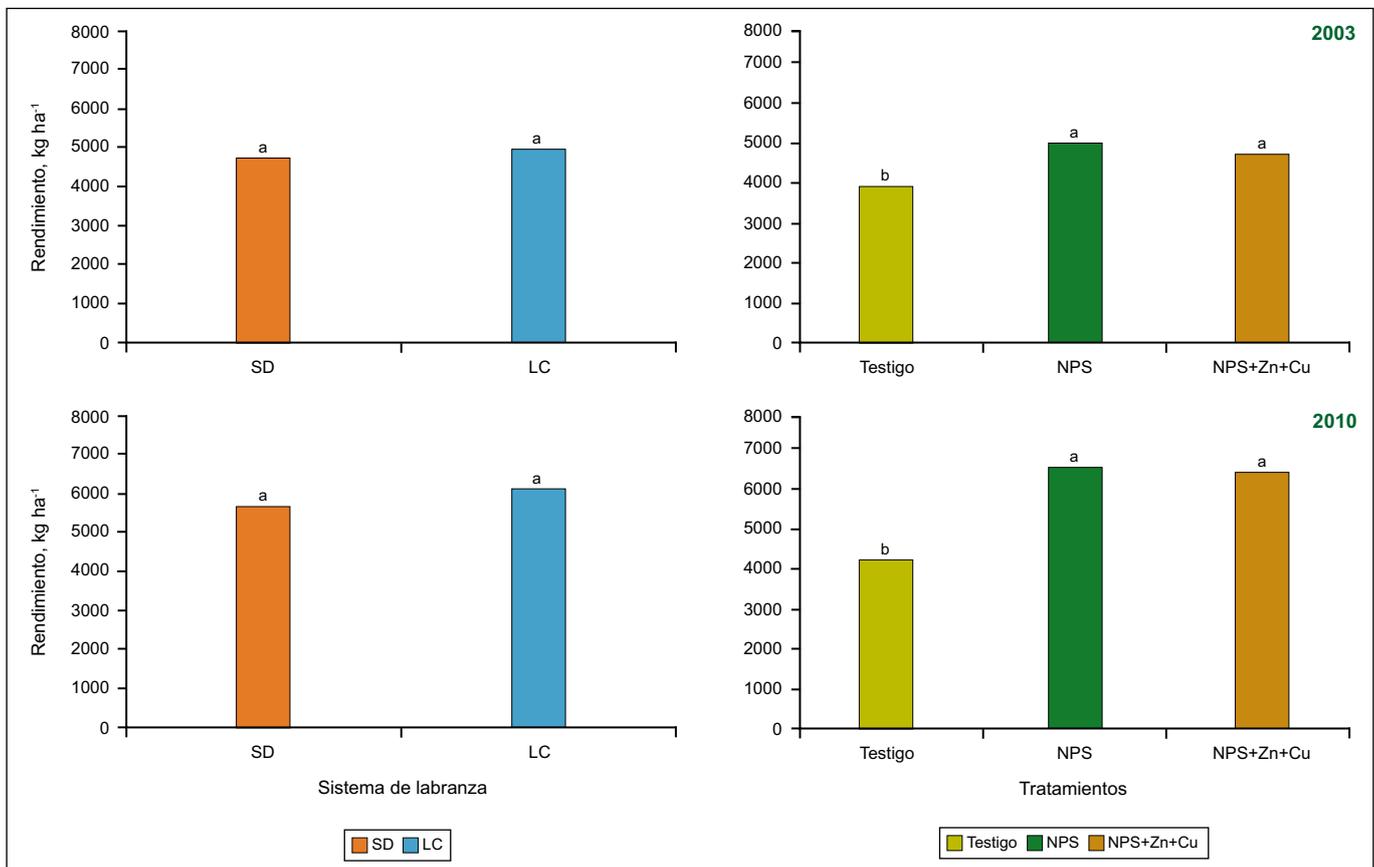
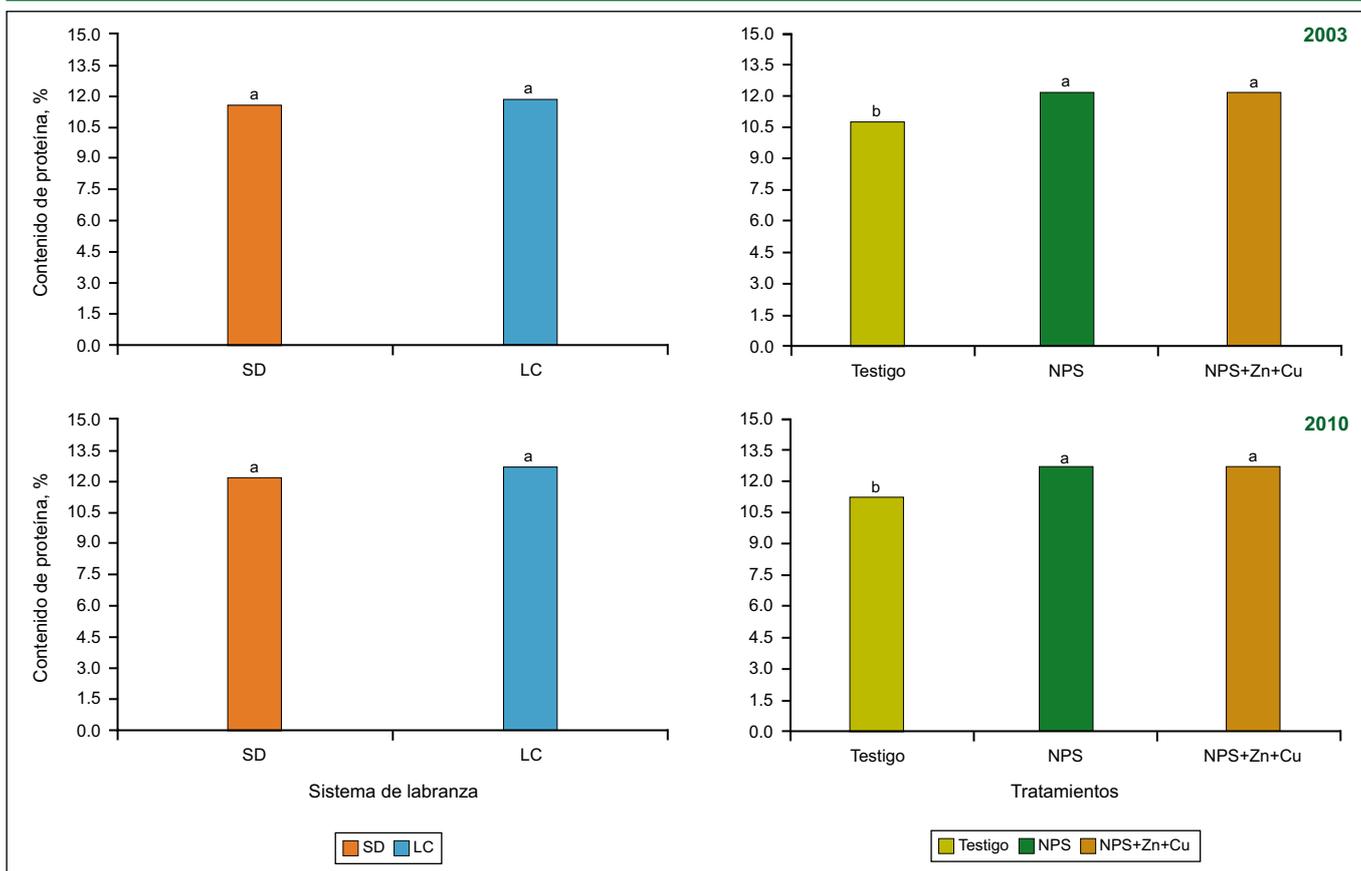


Figura 6. Rendimiento del cultivo de trigo en función del sistema de labranza y los tratamientos de fertilización para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) según el test de DMS.



**Figura 7. Contenido de proteína en grano del cultivo de trigo en función del sistema de labranza y los tratamientos de fertilización para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) según el test de DMS.**

de años y momentos de muestreo fue solamente del 3% adicional al tratamiento NPS.

### Nitrógeno acumulado en biomasa aérea e índice de verdor en hoja

No se determinaron cambios significativos en el N acumulado en biomasa aérea por efecto del sistema de labranza o la aplicación de Zn y Cu (Figura 4). El tratamiento Testigo, presentó los menores contenidos de N acumulado diferenciándose significativamente de los tratamientos fertilizados (Figura 4).

El IV determinado en hoja bandera, no fue afectado por el sistema de labranza o la fertilización con Zn y Cu (Figura 5). Si bien Zn y Cu participan en la síntesis de clorofila, la fertilización con estos micronutrientes no produjo efectos sobre el contenido de dicho compuesto. Lo que sería debido a que la disponibilidad en suelo de dichos elementos es adecuada para el normal crecimiento del cultivo de trigo (Tabla 1). Como era de esperar, solo se determinaron diferencias significativas en IV entre el Testigo y los tratamientos fertilizados (Figura 5), indicando que el medidor de clorofila es un indicador adecuado para caracterizar la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo (Gandrup et al., 2004).

### Rendimiento

Los rendimientos obtenidos fueron elevados como consecuencia de la adecuada cantidad y distribución

de las precipitaciones (Figura 2). No se determinaron efectos significativos en el rendimiento por efecto del sistema de labranza o la aplicación de Zn más Cu. Solo se determinaron diferencias significativas en rendimiento entre el Testigo y los tratamientos fertilizados (Figura 6). En ambos años, el incremento promedio de rendimiento por efecto de la aplicación de NPS tendió a ser superior en SD respecto a LC (47 y 34%, respectivamente).

La falta de respuesta a la aplicación de Zn y Cu estaría indicando que, a pesar de la prolongada historia agrícola del sitio experimental (más de 50 años), la disponibilidad de estos micronutrientes en el suelo se encuentra por encima de los umbrales de deficiencia y por lo tanto sería adecuada para el normal desarrollo y crecimiento de cultivo de trigo (Tabla 1). Estos resultados coinciden con los informados por Sainz Rozas et al. (2003) quienes determinaron respuesta al agregado de Zn en solo 4 de 19 sitios del sudeste bonaerense. Dicha respuesta estuvo asociada a condiciones de baja disponibilidad de Zn y pH levemente ácido, o en suelos con disponibilidad media de Zn y pH superior a 6, situaciones poco frecuentes para los suelos agrícolas del sudeste bonaerense destinados al cultivo de trigo.

### Contenido de proteína

El contenido de proteína en grano no fue afectado por el sistema de labranza, ni por la aplicación de Zn y Cu (Figura 7). El tratamiento Testigo mostró

valores significativamente inferiores de proteína en grano respecto de los tratamientos fertilizados, este comportamiento estaría indicando que el N disponible para el cultivo fue limitante en ambos sistemas de labranza no alcanzando los niveles de calidad requeridos (12%). Estos resultados difieren de los reportados por Campbell (1989) y Schmidt y Szakál (2007), quienes determinaron incrementos en el contenido de proteína por la aplicación de Zn y Cu en trigo; y Lemos et al. (2012) quienes reportaron efectos significativos del Cu sobre el contenido de proteína en cebada, principalmente en ambientes de altos rendimientos.

## Conclusiones

Los resultados de esta experiencia permiten afirmar que independientemente del sistema de labranza (LCySD), el cultivo de trigo en Balcarce no respondió a la aplicación de Zn y Cu, a pesar de la prolongada e intensa historia agrícola del suelo. Estos resultados ponen en evidencia que si bien los niveles de MO han disminuido como consecuencia del incremento de la actividad agrícola, la capacidad del suelo de proveer Zn y Cu aún resulta suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo de trigo. No obstante, es necesario seguir evaluando en otros ambientes y condiciones el comportamiento del trigo al agregado de micronutrientes y su relación con los contenidos de dichos nutrientes en el suelo.

## Bibliografía

Barbieri, P.A., H.R. Sainz Rozas, y H.E. Echeverría. 2009. Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 27:41-47

Campbell, L.C. 1989. Zinc affects yield, protein and quality of wheat. *Agronomy in a Mediterranean Environment Proceedings of the 5th Australian Agronomy Conference*. Disponible en <http://www.regional.org.au/au/asa/1989/contributed/plant-nutrition/p-33.htm>

Calviño, P.A., H.E. Echeverría, y M. Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 20:36-42.

Cruzate, G., y R. Casas. 2009. Extracción de nutrientes en la agricultura argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 44:21-26.

Echeverría, H.E., y C.A. Navarro. 1983. Exploración de deficiencias nutritivas en suelos agrícolas del sudeste bonaerense. I: Método de Chaminade. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 18:17-29.

Echeverría, H.E., y H.R. Sainz Rozas. 2005. Nitrógeno. Pp. 69-95. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.

Eyherabide, M., H.R. Sainz Rozas, H.E. Echeverría, J.L. Velasco, M. Barraco, G.N. Ferraris, y H.P. Angelini. 2012a. Niveles de zinc disponibles en suelos de la región pampeana argentina. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 6 p.

Eyherabide, M., H.R. Sainz Rozas, H.E. Echeverría, J.L. Velasco, M. Barraco, G.N. Ferraris, y H.P. Angelini. 2012b. Niveles de cobre disponibles en suelos de la región pampeana argentina. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 6 p.

Fontanetto, H., O. Keller, J. Albrecht, D. Gialivera, C. Negro, y L. Belotti. 2009. Manejo de la fertilización de la soja en la región pampeana norte y en el NOA argentino. *Mejores Prácticas de Manejo*. Simposio Fertilidad 2009 (Santa Fe, Rosario, mayo 13-14). pp. 109-118.

Gandrup, M.E., F.O. García, K.P. Fabrizio, y H.E. Echeverría. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 33(3):105-121.

Johnson, G.V. y P.E. Fixen. 1990. Testing Soils for Sulfur, Boron, Molybdenum, and Chlorine. In: Westerman, R.L. (ed) *Soil testing and Plant analysis*, Third edition. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. pp. 265-273.

Lavado, R.S., C.A. Porcelli, y R. Alvarez. 1999. Concentration and distribution of extractable elements in a soil as affected by tillage systems and fertilization. *The Science of the Total Env.* 232(1):185-191.

Lavado, R.S., C.A. Porcelli, y R. Alvarez. 2001. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.* 62(1):55-60.

Lemos, E.A., M.G. Tellería, M.A. Vergara, y P. Prystupa. 2012. Fertilización foliar con cobre: ¿Aumenta el contenido proteico de los granos en cebada cervecera? XIX Congreso latinoamericano de la ciencia del suelo, XXIII congreso argentino de la ciencia del suelo Mar del Plata, Argentina - 16 al 20 de abril de 2012 Actas en CD 6 p.

McLean, E.O. 1982. Soil pH and Lime Requirement. In: A.L. Page, editor *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 199-224.

Moraghan, J.T., y H.J. Mascagni. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. En *Micronutrients in Agriculture*. S.H. Mickelson, R.J. Luxmoore, ED. pp. 371. 2nd ed.-SSA Book Series, No. 4

Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2008. Usefulness of Foliar Nitrogen-Sulfur Ratio in Spring Red Wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 31:1612-1623.

Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2009. Determination of Sulfate Concentration in Soil: Depth of Sampling. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40:1624-1633.

Rhee, K.C. 2001. Determination of Total Nitrogen. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. Texas A and M University, College Station, Texas.

SAGPYA. 2006. Producción de trigo 2006. [En línea]. (<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>). [Consulta: agosto de 2008].

Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría, P.A. Calviño, P.A. Barbieri, y M. Redolatti. 2003. Respuesta del trigo al agregado de zinc y cobre en suelos del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 21(2):52-58.

Sainz Rozas, H.R., y H.E. Echeverría. 2008. Relevamiento de la concentración de fósforo asimilable en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana. Simposio Fertilidad 2009. Organizado por IPNI y Fertilizar Asociación Civil. Rosario, 12 y 13 de Mayo de 2009. Actas pp. 221-223

Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría, y H.P. Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y de pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 2:6-12.

Sainz Rozas, H.R., M. Eyherabide, H.E. Echeverría, H. Angelini, G.E. Larrea, G.N. Ferraris, y M. Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? En: F. García y A. Correndo (Eds.). *Simposio Fertilidad 2013: Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable*. 22-23 de Mayo de 2013. Rosario. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC: 62-72.

Schmidt, R., y P. Szakál. 2007. The application of copper and zinc containing ion-exchanged synthesised zeolite in agricultural plant growing. *Nova Biotechnologica* 7(1):57-62-I

Sims, J.T., y G.V. Johnson. 1991. Micronutrient soil tests. In *Micronutrients in agriculture (Book series 4)*: 427-476. Mortvedt, J.J., Cox F.R., Shuman L.M. y M.R. Welch (Eds.) Ed. SSSA Madison, Wisconsin, USA

Studdert, G.A., y H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.

Urricariet, S., y R.S. Lavado. 1999. Indicadores de deterioro de los suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17:37-44.

Waskom, R.M. 1996. A review of use of chlorophyll meters to assess crop N status in the Great Plains. *Proceedings Great Plains Soil Fertility Conference*. J. Havlin (ed.). Kansas State University, Manhattan, KS, EEUU. pp. 36-43.

# Impacto de la fertilización en soja sobre la calidad del grano

Fernando Martínez<sup>1\*</sup> y Graciela Cordone<sup>1</sup>

## Introducción

Existe preocupación en la industria argentina de procesamiento de soja por la constante caída del contenido proteico de los granos (Cordone et al., 2011; Cuniberti y Herrero, 2013; Matteo y Calzada, 2013). Este contenido ha bajado gradualmente desde un 41-42% en la campaña 1971/72 hasta el 37-38% registrado en las últimas campañas. La evaluación de la calidad industrial del grano de soja también incluye la concentración de aceite que ha oscilado entre 20% y 24% en los últimos años. Los contenidos de proteína y aceite se combinan en el índice ProFat del grano (proteína + aceite). Para la operación plena de las plantas procesadoras se considera óptimo un contenido ProFat del grano de un 61% en base seca.

Debe considerarse que la harina proteica es un subproducto irremplazable de la industria de soja; actualmente el aceite, aún con su alto precio, puede ser reemplazado por otros. La disminución progresiva del contenido proteico del grano de soja "regional" es salvada por las procesadoras con reducciones de la humedad de entrega, el descascarillado y el mezclado con partidas con mayor concentración proteica, en particular de origen noreste argentino (NEA) y Paraguay. Todo esto se realiza para no sufrir penalidades al no alcanzar la calidad de contrato de la harina conocida como High-Pro.

A nivel nacional no existen referencias acerca del impacto de la nutrición del cultivo sobre la concentración de proteína y aceite en el grano de soja. Este artículo presenta y discute los resultados obtenidos en una red de ensayos realizados por la Agencia de Extensión Rural (AER) del INTA de Casilda (Santa Fe, Argentina) en la campaña 1998/99, que aportan información de interés en cuanto a los efectos de la nutrición sobre la calidad industrial del grano de soja.

## Metodología

La AER INTA Casilda condujo ensayos de fertilización fósforo-azufrada en soja entre 1992/93 y 1998/99 en la región centro sur de la provincia de Santa Fe (CSSF). Durante las campañas 1992/93 a 1996/97, la actividad experimental fue exploratoria; a partir de la campaña 1997/98 la actividad se dirigió al ajuste de la práctica, incluyendo las herramientas de análisis de suelo y tejidos vegetales que permitan su recomendación, las fuentes y dosis recomendables y las técnicas de aplicación. En el marco de estos ensayos, en la campaña

1998/99 se agregó la hipótesis de un posible efecto de la fertilización sobre la calidad del grano producido.

En la campaña 1998/99 se tomaron muestras de grano de las franjas experimentales de cada ensayo y se les practicó el análisis de calidad industrial rutinario. Los análisis, un número cercano a 200 muestras, fueron realizados en el laboratorio de calidad de la empresa ACHA (Aceitera Chabás, del grupo AGD).

El "ensayo tipo" en la campaña 1998/99 tuvo un diseño en franjas del ancho de la sembradora disponible en cada sitio por el largo del lote y con 2 repeticiones. Se analizaron los granos de ensayos de aplicación directa en soja de primera y soja de segunda (7 ensayos) y "residuales" en soja de segunda con la aplicación realizada en el trigo antecesor (3 ensayos).

Los suelos en los que se instalaron los ensayos son argiudoles típicos de las series Casilda y Hansen, con más de 50 años de agricultura continua. Los análisis de suelo previos a la siembra indicaron rangos de 2.44% a 2.84% de materia orgánica, de entre 8 y 17 mg kg<sup>-1</sup> de P Bray-1 y pH entre 5.8 y 6.0.

Las precipitaciones de la campaña 1998/99 para el Centro Sur de Santa Fe fueron aproximadamente 600 mm entre noviembre y abril, suficientes para cubrir los requerimientos de los cultivos. Heladas a mediados de abril afectaron el llenado final de los granos en los ensayos instalados más tardíamente y esta afectación fue más marcada en los tratamientos fertilizados con S que prolongaron su ciclo respecto a los testigos.

Las dosis de P y S en aplicación directa en cultivos de soja de ciclo completo (soja de 1ª) y soja de segunda siembra (soja de 2ª) fueron de 23 kg P ha<sup>-1</sup> y 12 kg S ha<sup>-1</sup>; y las dosis de aplicación en trigo, para el cultivo de trigo y soja de segunda siembra (soja de 2ª residual), fueron de 23 kg P ha<sup>-1</sup> y 17 kg S ha<sup>-1</sup>. Como fuentes de P se utilizaron superfosfato triple de calcio (SFT, 20% de P) o fosfato monoamónico (FMA, 23 % de P). Las fuentes de S fueron kieserita (sulfato de magnesio, 22% de S), yeso (sulfato de calcio, 17% de S), sulfato de amonio (SA, 24% de S), sulfonitrato de amonio (SNA, 14% de S) o SulPoMag® (sulfato doble de potasio y magnesio, 11% de S). Las variedades utilizadas fueron todas del GM VI corto, y previamente a la siembra siempre se inoculó la semilla. El manejo del cultivo fue el usual de la región, con monitoreo de INTA Casilda. La cosecha fue con máquina comercial y las pesadas con balanza de platos. Los rendimientos se corrigieron a humedad comercial de 13.5%.

<sup>1</sup> AER INTA Casilda, Casilda, Santa Fe, Argentina

\* Correo electrónico: martinez.f@inta.gob.ar

## Resultados de análisis de calidad industrial

### Resumen de los 10 ensayos

En la **Figura 1** se presentan los resultados de calidad industrial de los granos de soja identificados por tratamiento de fertilización. Los valores de proteína y de ProFat tendieron a incrementarse con la aplicación de P, mientras que en promedio, los valores de aceite fueron similares para los cuatro tratamientos indicados.

La evaluación por ensayo mostró disminuciones en concentración de aceite por fertilización en dos de tres sitios de fertilización directa en soja de 2ª, e incrementos en proteína en un sitio (datos no mostrados). En uno de los cuatro sitios de soja de 1ª, la fertilización incrementó la concentración de proteína.

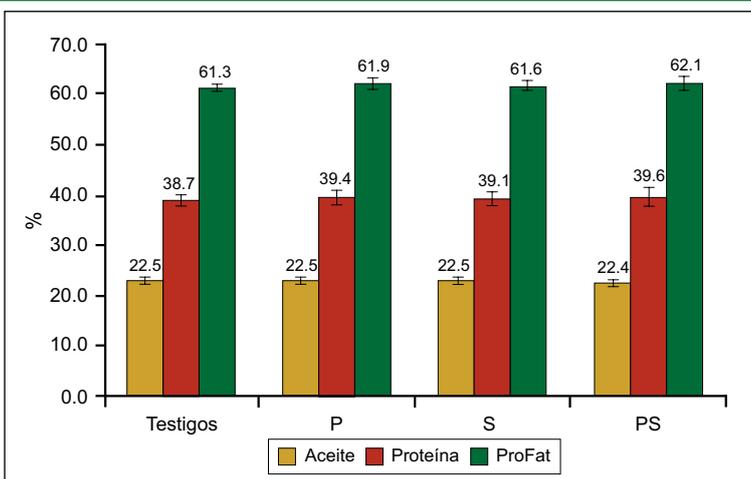
La **Figura 2** muestra la relación inversa entre aceite y proteína observada en las unidades experimentales de los diez ensayos. No se observaron diferencias en esta relación inversa entre manejos de soja y fertilización (de 1ª o 2ª, testigos o fertilizados), la concentración de proteína tendió a disminuir en un 1.67% por cada 1% de incremento del aceite. Los tres sitios de soja de 2ª sin o con fertilización en el cultivo de invierno anterior, son los que mostraron menores valores de proteína y los mayores valores de aceite. Si bien son otros sitios, las sojas de 2ª con fertilización directa mostraron mayores valores de proteína.

Los efectos de la fertilización en aceite, proteína y ProFat (% aceite + % proteína) se evaluaron comparando las concentraciones de estas variables entre los testigos y los tratamientos fertilizados (**Figura 3**). En general, la fertilización tendió a disminuir la concentración de aceite, y a aumentar la de proteína y el ProFat.

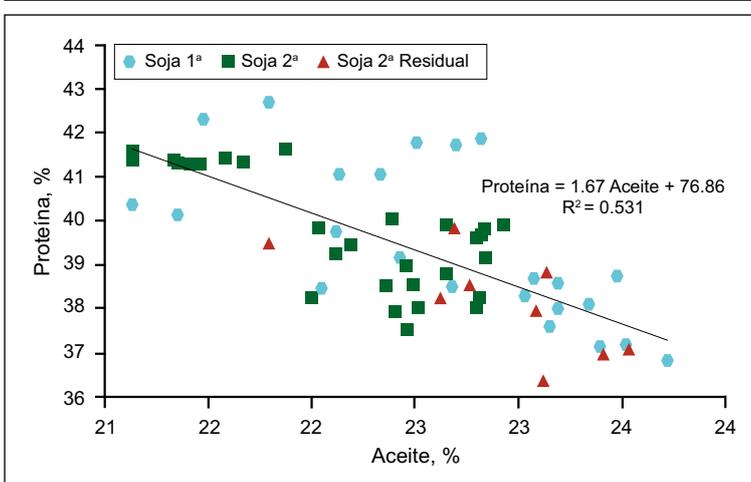
Analizando los efectos de cada tratamiento de fertilización, la aplicación de P disminuyó la concentración de aceite en cuatro de ocho sitios pero tendió a aumentarla en los otros cuatro; aumentó la proteína y ProFat en siete sitios.

La aplicación de S tendió a aumentar la concentración de aceite en cinco de trece sitios y a disminuirlas en los otros ocho. El S aumentó la proteína y el ProFat en diez y once de los trece sitios evaluados, respectivamente.

La aplicación de PS tendió a aumentar el aceite en siete de once sitios pero la disminuyó marcadamente en los otros cuatro sitios. El PS aumentó la proteína y el ProFat en siete de los once sitios evaluados.



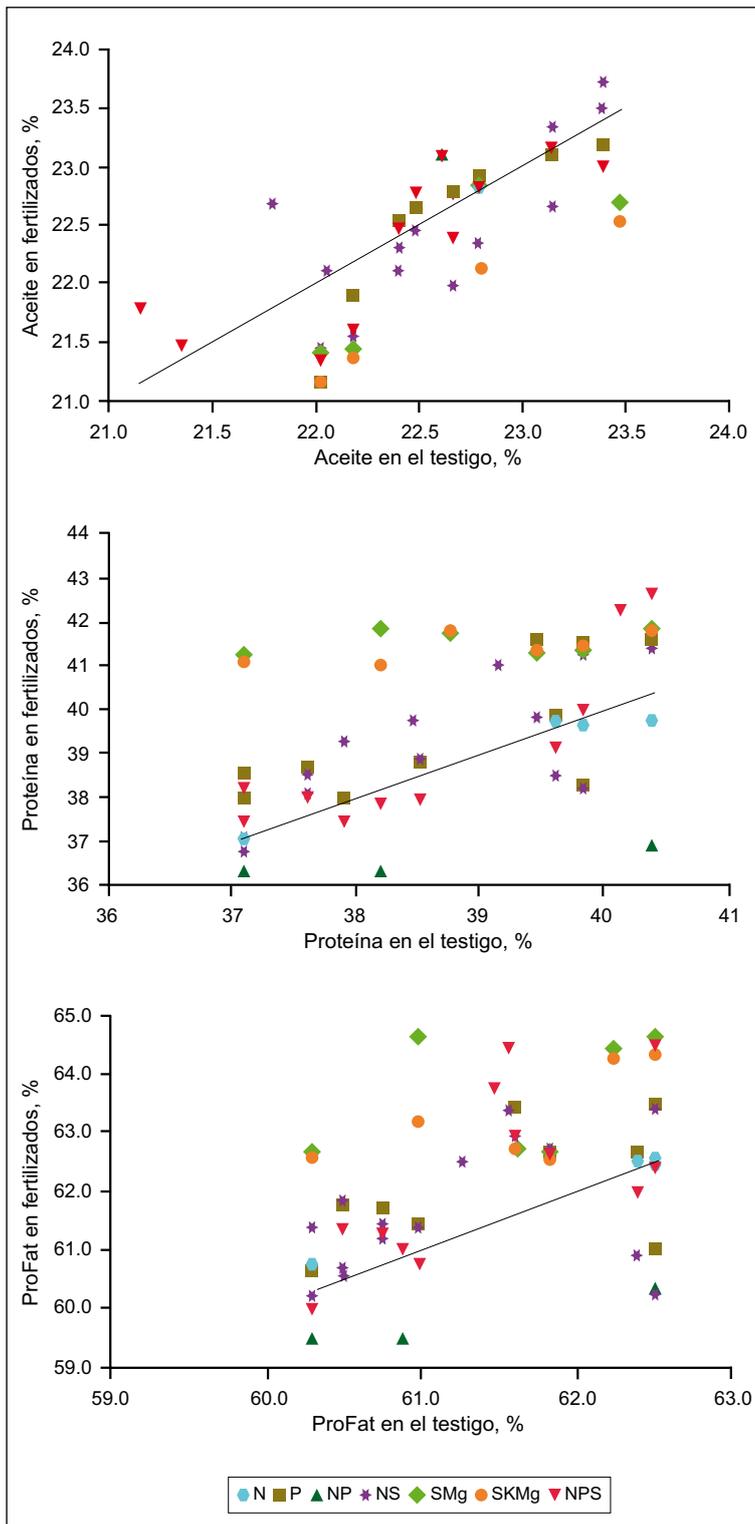
**Figura 1. Resultados de los análisis de grano en base seca según tratamiento de fertilización. Promedio de 10 ensayos realizados en la campaña 1998/99. Laboratorio Calidad ACHA – Chabás, Santa Fe.**



**Figura 2. Resultados de los análisis de grano en base seca según tratamiento de fertilización. Promedio de 10 ensayos realizados en la campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

**Tabla 1. Tratamientos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

	Tratamiento y dosis kg ha <sup>-1</sup>	Nutriente agregado, kg ha <sup>-1</sup>			
		N	P	S	Mg
1.	Testigo	0	0	0	0
2.	SPT 50	0	10	0	0
3.	SPT 100	0	20	0	0
4.	SPT 150	0	30	0	0
5.	SPT 50 + SNA 86	10	10	12	0
6.	SPT 50 + Kieserita 55	10	20	12	9.5
7.	SPT 50 + Yeso agrícola 70	10	20	12	0
8.	SPT 50 + Yeso agrícola 140	10	20	24	0
9.	Kieserita 55	0	0	12	9.5
10.	Yeso agrícola 70	0	0	12	0
11.	Yeso agrícola 140	0	0	24	0



**Figura 3. Relaciones de concentraciones de aceite, proteína y ProFat entre tratamientos Testigo y tratamientos fertilizados. "Las líneas negras indican la relación 1:1 entre los valores de aceite, proteína, y ProFat de los tratamientos Testigo y los tratamientos fertilizados". Ensayos Campaña 1998/99, AER INTA Casilda, Santa Fe.**

Si bien se evaluaron en pocos sitios, solamente cuatro, la aplicación de potasio y/o magnesio por sobre S no afectó las concentraciones de aceite, proteína y ProFat.

### Resultados analíticos de un ensayo en particular

Se presentan los resultados de rendimiento, componentes de rendimiento, análisis de tejido, calidad industrial

del grano y rendimiento de producto industrial de un ensayo de fertilización directa en soja de segunda. El antecesor fue cebada cervecera fertilizada con nitrógeno (N) + P + S (primera aplicación de S) y que tuvo un rendimiento de 3600 kg ha<sup>-1</sup>. La variedad de soja utilizada fue A – 6444 RR de Nidera, con inoculación y a 0.35 m de espaciamiento entre líneas. La fecha de siembra fue el 22/12/98 y la de cosecha el 27/05/99. El suelo del lote es serie Casilda4, fase moderadamente ondulada y moderadamente erosionada, con 50 años de agricultura continua y en 5to. año continuo de siembra directa. El análisis de suelo 0-20 cm de profundidad indicó pH = 5.69; P Bray = 33 mg kg<sup>-1</sup>; MO = 2.86% y S-SO<sub>4</sub> por turbidimetría = 3 mg kg<sup>-1</sup>. La siembra se realizó con el perfil bien provisto de agua (130 mm en diciembre de 1998). Se presentó un periodo de altas temperaturas y sin ocurrencia de lluvias entre el 12/02 y el 1/03 de 1999. Llovieron 644 mm de siembra a cosecha. Las primeras heladas ocurrieron el 16 y 17/04/1999. El tamaño de las parcelas fue de 4.4 m x 300 m (1320 m<sup>2</sup>); el diseño fue de bloques al azar con 2 repeticiones para 11 tratamientos de fertilización (Tabla 1). Siembra y cosecha se realizaron con maquinaria comercial y pesada con balanza electrónica de platos. El muestreo para componentes de rendimiento se realizó en forma manual con 3 muestras de 0.5 m<sup>2</sup> por repetición sobre 8 tratamientos selectos; para el análisis de tejido vegetal se tomó una muestra compuesta de 25 hojas (75 folíolos) por tratamiento en estadio fenológico R4 y para calidad industrial del grano una muestra de 1 kg por parcela.

La Tabla 2 permite observar la contundente respuesta del cultivo a la aplicación de S (siempre como sulfato), solo o en combinación con P. Las dosis mayores de S y la combinación P+S+Mg produjeron los mayores rendimientos. Aún con alta disponibilidad de P del suelo, producida por la fertilización fosfórica precedente, el cultivo respondió a dosis crecientes del nutriente. Las heladas de mediados de abril se produjeron cuando aún no había finalizado el período de llenado de granos. Esto tuvo mayor incidencia sobre las parcelas con S que no habían comenzado a amarillear sus hojas; sin embargo, esas parcelas presentaron granos más pesados. Puede inferirse entonces que las heladas tempranas limitaron el llenado de granos de esas parcelas y que de haber terminado su ciclo normalmente podrían haber manifestado mayor peso de granos. El análisis de los componentes de rendimiento permitió observar que la respuesta a la fertilización aumentó el número de vainas por m<sup>2</sup> y granos por m<sup>2</sup>, que a su vez fueron más pesados (aún con la restricción que las heladas le impusieron al llenado de las parcelas fertilizadas con S).

**Tabla 2. Rendimiento y componentes de rendimiento para los distintos tratamientos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

Tratamiento y dosis kg ha <sup>-1</sup>		Rendimiento, kg ha <sup>-1</sup>	pl m <sup>-2</sup>	Peso 1000 semillas, g	Granos m <sup>-2</sup>	Vainas m <sup>-2</sup>
Valor-p		(***)	(ns)	(***)	(**)	(*)
CV (%)		1.94	8.6	2.8	10.5	12.1
1.	Testigo	2097 d	47.7	117.3 b	2042 c	1138 b
2.	SPT 50	2117 d	49.7	118.1 b	2390 bc	1323 ab
3.	SPT 100	2191 cd	-	-	-	-
4.	SPT 150	2289 c	48.3	120.3 b	2480 abc	1352 ab
5.	SPT 50 + SNA 86	2569 b	43.7	133.0 a	2940 ab	1656 a
6.	SPT 50 + Kieserita 55	2809 a	-	-	-	-
7.	SPT 50 + Yeso agrícola 70	2545 b	50.3	132.0 a	3059 ab	1746 a
8.	SPT 50 + Yeso agrícola 140	2769 a	48.3	132.2 a	2958 ab	1610 a
9.	Kieserita 55	2647 b	-	-	-	-
10.	Yeso agrícola 70	2606 b	43	130.4 a	2712 abc	1499 ab
11.	Yeso agrícola 140	2768 a	45.7	131.3 a	3139 a	1725 a

(\*\*\*), (\*\*), (\*) y NS: significativo a nivel de P < 0.01, < 0.05, < 0.10, y no significativo respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos de igual letra no difieren entre sí a nivel de α = 0.05 según DMRT.

**Tabla 3. Concentración foliar de nutrientes en 7 tratamientos selectos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

Tratamiento y dosis kg ha <sup>-1</sup>	Contenido de nutrientes										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	%						mg kg <sup>-1</sup>				
1. Testigo	3.4	0.45	1.3	1.7	0.20	0.18	47.1	8.8	111	63	34
2. SPT 50	3.6	0.42	1.2	1.7	0.19	0.19	46.5	9.4	119	77	31
5. SPT 50 + SNA 86	4.8	0.38	1.4	1.7	0.13	0.29	37.4	11.9	142	165	27
7. SPT 50 + Yeso agrícola 70	4.9	0.39	1.3	1.8	0.13	0.30	37.6	11.0	137	132	28
8. SPT 50 + Yeso agrícola 140	5.0	0.42	1.4	1.9	0.14	0.32	40.0	11.7	145	162	28
10. Yeso agrícola 70	4.9	0.39	1.3	1.6	0.14	0.29	39.8	11.5	144	119	27
11. Yeso agrícola 140	5.1	0.36	1.3	1.6	0.13	0.33	37.6	10.5	139	150	28

Observaciones: las celdas sombreadas en rojo corresponden a valores que están por debajo de los niveles considerados normales o de suficiencia (Correndo y García, 2012).

Por otra parte, la fertilización azufrada se relacionó con una mayor concentración foliar de S y también de N (Tabla 3), que fue aportado por la fijación biológica de nitrógeno (FBN). El tratamiento 6, que incluye la aplicación de una pequeña dosis de N no supera en su contenido al obtenido con aplicaciones de S.

La Tabla 4 informa los contenidos de aceite y proteína en base seca y el valor industrial ProFat de las muestras. La Figura 4 indica el rendimiento transformado en

equivalente de producto industrial por ha. El agregado de P, a dosis crecientes, determinó un incremento de entre 3.5 y 9.4% en el "rendimiento ProFat". Las aplicaciones de S, solas o en combinación con P produjeron incrementos de entre 25 y 38% de rendimiento industrial ProFat.

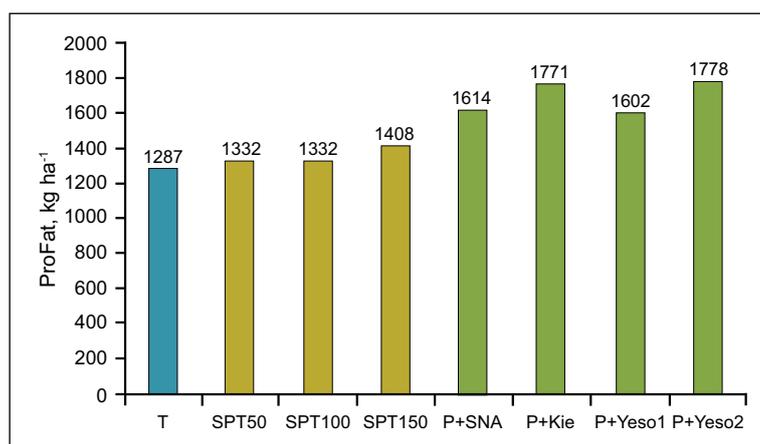
### Conclusiones

La fertilización azufrada y fósforo-azufrada produjo incrementos de rendimiento de soja y también mejoras

**Tabla 4. Calidad industrial, rendimiento de grano y rendimiento industrial por ha para los distintos tratamientos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

	Tratamiento y dosis kg ha <sup>-1</sup>	Aceite BS %	Proteína BS %	ProFat %	Producto industrial kg ha <sup>-1</sup>	Diferencia con el testigo %
1.	Testigo	22.18	39.19	61.37	1289 b	-
2.	SPT 50	20.91	42.02	62.93	1332 b	+ 3.5
3.	SPT 100	21.65	39.15	60.80	1332 b	+ 3.5
4.	SPT 150	21.13	40.38	61.51	1408 b	+ 9.4
5.	SPT 50 + SNA 86	20.47	42.38	62.85	1615 a	+ 25.5
6.	SPT 50 + Kieserita 55	20.96	42.09	63.05	1771 a	+ 37.6
7.	SPT 50 + Yeso agrícola 70	20.83	42.14	62.97	1603 a	+ 24.5
8.	SPT 50 + Yeso agrícola 140	20.86	43.35	64.21	1778 a	+ 38.2
9.	Kieserita 55	20.57	42.34	62.91	1665 a	+ 29.4
10.	Yeso agrícola 70	21.15	41.09	62.24	1622 a	+ 26.0
11.	Yeso agrícola 140	21.25	41.15	62.40	1728 a	+ 34.3

*Producto Industrial: Valores dentro de cada columna seguidos de igual letra no difieren entre sí a nivel de  $\alpha = 0.05$  según DMRT, significativo a nivel de P 0.05.*



**Figura 4. Rendimiento industrial promedio (ProFat, kg ha<sup>-1</sup>) según 8 tratamientos selectos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

en el valor ProFat de los granos cosechados, en una serie de ensayos conducidos por la AER INTA Casilda durante la campaña 1998/99 y para las condiciones presentadas.

En los últimos 15 años no ha habido investigaciones que sigan esta línea de trabajo referida a calidad según fertilización, lo cual puede ser relevante dados los resultados observados en estos ensayos.

El potencial de la fertilización en el centro sur de Santa Fe y en toda la región pampeana norte, permitiría una doble mejoría de la producción sojera. Por un lado, el incremento del rendimiento aumenta el ingreso del

productor considerando la favorable relación costo:beneficio de la técnica, mejorando el balance de nutrientes del suelo e incrementando la fijación biológica de N. Por otra parte, la fertilización podría consolidar la rentabilidad de las procesadoras de soja al permitir obtener una mayor proporción del producto industrial con el mismo volumen de molienda.

### Bibliografía

- Cordone G., C. Vidal, R. Albrecht, F. Martínez, L. Martins, H. Pescetti, G. Almada, L. Angeloni, E. Casasola, G. Cavallero, M. De Emilio, M. Gatti, G. Gerster, S. Guerra, J. Méndez, R. Paganl, J. Pabón, G. Prieto, L. Quevedo, N. Trentino, A. Rausch, A. Malmantile, J. Rossi, J. Scarel, C. Espíndola y M. Parodi. 2011. Rendimiento industrial de soja en la provincia de Santa Fe, Argentina. Actas Congreso Mercosoja 2011. Rosario, Argentina, 14-16 Septiembre 2011. ACSOJA.
- Cuniberti, M. y R. Herrero. 2013. Proteína de la Soja Argentina. Workshop "Las harinas de soja ¿pierden competitividad en el mercado?". Congreso de Aapresid 9/8/13.
- Matteo F. y J. Calzada. 2013. La caída de la proteína en soja le cuesta a Argentina 405 millones de dólares. Reporte de la Bolsa de Comercio de Rosario. Diciembre 2013. <http://www.bcr.com.ar/>

# ¿Qué sabemos del diagnóstico de azufre en los cultivos de la región pampeana argentina?

W.D. Carciochi<sup>1,4,\*</sup>, G.A. Divito<sup>2,4</sup>, N.I. Reussi Calvo<sup>3,4</sup> y H.E. Echeverría<sup>4</sup>

## Introducción

El azufre (S) es un elemento esencial para el crecimiento vegetal. Durante años, el estudio de este nutriente recibió poca atención dado que su disponibilidad en el suelo y los aportes atmosféricos y/o en los agroquímicos permitía cubrir la demanda de los cultivos. Sin embargo, en la actualidad, parte de la superficie cultivada a nivel mundial, incluida la región pampeana, presenta deficiencia de S (Echeverría et al., 2015). Para esta última región, la intensificación de la actividad agrícola y la adopción del sistema de siembra directa, fueron las principales causas de la actual deficiencia de S en los cultivos. Es así como se han reportado numerosos casos donde la aplicación de fertilizantes azufrados produjo aumentos en el rendimiento de soja (Gutierrez Boem et al., 2006; Divito et al., 2014), trigo (Salvagiotti y Miralles, 2008; Reussi Calvo et al., 2011) y maíz (Ferraris et al., 2006; Pagani et al., 2009).

En este escenario, la deficiencia de S mal diagnosticada tiene como consecuencia directa la reducción del rendimiento del cultivo y/o de la calidad de los granos. Por el contrario, la aplicación sistemática de fertilizantes representa una estrategia poco racional en términos económicos y ambientales. Por ello, es necesario contar con índices de disponibilidad de S que sean, precisos, simples y de bajo costo.

Se plantean como objetivos del presente trabajo:

- i) Realizar un análisis comprensivo de las herramientas disponibles para el diagnóstico del estatus azufrado en soja, trigo y maíz
- ii) Proponer un árbol de decisión para la fertilización azufrada
- iii) Identificar áreas de vacancia de información en la temática.

## Herramientas para el diagnóstico del estatus azufrado

### Características del suelo y sistema de producción

Existen ciertas condiciones ambientales y de manejo de un sitio que incrementan la probabilidad de ocurrencia de la deficiencia de S. De este modo, suelos de textura gruesa, con bajo contenido de materia orgánica (MO), bajo siembra directa, con prolongada historia agrícola, ausencia de barbechos, ambientes de alta productividad

y/o sin aporte sub-superficial de agua rica en sulfato, han sido identificados como escenarios de probable respuesta al agregado de S. Así, el conocimiento de esta información brinda una primera aproximación sobre la probabilidad de que los cultivos manifiesten deficiencia de S.

### Cuantificación de la disponibilidad de S-sulfato en el suelo

La determinación de la cantidad de S-sulfato en el suelo a la siembra de los cultivos tiene como ventajas el conocimiento generalizado que existe sobre la forma de tomar las muestras y el beneficio de aprovechar la infraestructura y el equipamiento que disponen los laboratorios para la determinación de otros nutrientes. Sin embargo, esta determinación ha mostrado un escaso valor predictivo de la probabilidad de respuesta a la fertilización con S en la región pampeana (Pagani y Echeverría, 2011; Steinbach y Álvarez, 2012; Divito y Echeverría, 2014); siendo una de las causas la baja precisión de la cuantificación turbidimétrica (Russi et al., 2010; PROINSA, 2013).

Por otra parte, el aporte de sulfato de horizontes sub-superficiales (Echeverría et al., 2015), desde el agua de napa y el procedente de la mineralización del S orgánico durante el ciclo del cultivo también contribuyen a explicar la escasa performance que tiene el método. Pese a ello, resulta importante considerarlo como herramienta de diagnóstico, aunque requiere ser complementado con información agronómica, de manejo y/o con análisis de material vegetal.

### Análisis de material vegetal

Los análisis de planta presentan la ventaja respecto a las determinaciones en muestras de suelo de que integran los efectos del suelo, clima y propios del cultivo, que afectan su estatus azufrado. Una de las determinaciones utilizadas es la concentración de S total en la biomasa aérea o en una parte específica de la planta. En general, la concentración de S depende de la parte de la planta analizada, del estadio de desarrollo y de la disponibilidad de otros nutrientes (Hahtonen y Saarela, 1995), lo que dificulta la definición de una única concentración crítica de S (concentración mínima requerida para lograr la máxima tasa de crecimiento y, por ende, la máxima producción de biomasa del cultivo). Para evitar esto, se ha propuesto la determinación de la relación nitrógeno:azufre (N:S), que es más estable durante el

1 Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

2 CONICET.

3 Laboratorio de suelos FERTILAB.

4 Unidad Integrada Balcarce: EEA INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP). CC. 276, (7620). Balcarce, Argentina.

\* Autor de contacto. Ruta 226 km 73.5. Balcarce, Argentina. Correo electrónico: waltercarciochi@hotmail.com

ciclo de crecimiento de los cultivos (Reussi Calvo et al., 2012). Si bien esta metodología es más precisa y ha permitido diagnosticar correctamente deficiencias de S en los distintos cultivos, presenta la desventaja de ser más costosa, en comparación con la determinación de sulfato en suelo. Para el análisis de granos, el método utilizado se basa en el empleo conjunto de la concentración de S y de la relación N:S en los mismos. Aunque éste no permite corregir deficiencias de S, resulta de utilidad como guía para la fertilización de otros cultivos en la rotación.

Una alternativa al análisis de nutrientes en material vegetal es el empleo de medidores de la transmitancia foliar. Los mismos presentan ventajas al permitir un diagnóstico instantáneo, de bajo costo, no destructivo y cuantitativo del contenido de clorofila de las hojas. Uno de los instrumentos más empleados es el Minolta SPAD® 502, el cual expresa un valor cuantitativo de la intensidad de color verde de la hoja denominado índice de verdor (IV). Dado que el síntoma más común de deficiencia de S es la disminución en la intensidad del color verde, debido a una menor concentración de clorofila, es posible utilizar dicho instrumento para caracterizar el estatus azufrado de los cultivos. Para ello, es necesario relativizar el valor de IV del lote a evaluar con el correspondiente a una franja o parcela fertilizada con S, obteniendo así un índice de suficiencia de azufre (ISS). El empleo de una franja sin limitaciones de S, también puede utilizarse para diagnosticar una deficiencia del nutriente, al comparar el rendimiento en grano del cultivo en la misma con el del resto del lote. Este caso, al igual que el análisis en grano, resulta de utilidad como guía para la fertilización de otros cultivos en la rotación.

En síntesis, en la actualidad se dispone de diferentes herramientas que permiten diagnosticar la disponibilidad de S, y que han sido evaluadas en los principales cultivos de la región pampeana.

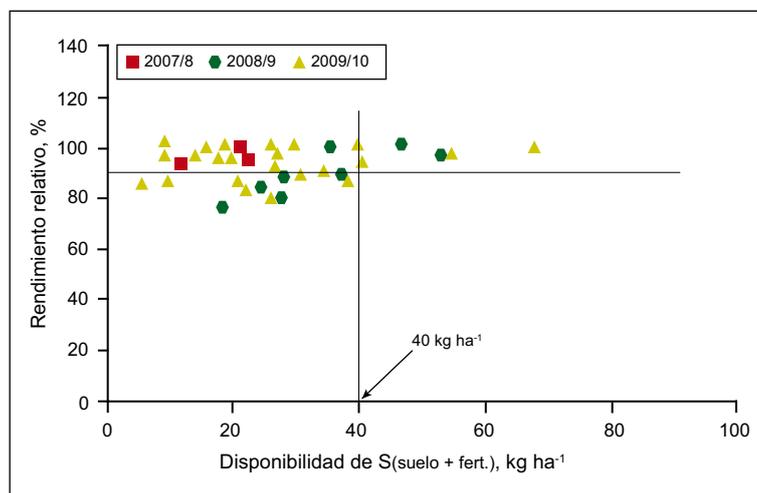
## Experiencias por cultivo

### Soja

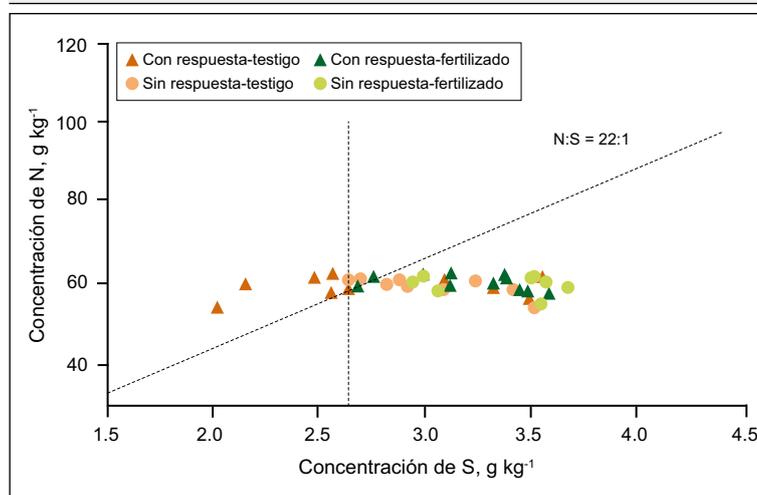
Debido a que la soja es el principal cultivo de la región pampeana y a que tiene un alto requerimiento de S (7 kg S t<sup>-1</sup> grano), se han realizado numerosas experiencias para evaluar la respuesta al agregado de este nutriente y la performance de las metodologías de diagnóstico. En soja de primera, se determinó que el 31% de 88 ensayos manifestaron aumento de rendimiento por el agregado de S (Ferraris, 2005; Gutiérrez Boem et al., 2006; Salvagiotti et al., 2012; Divito y Echeverría, 2014), siendo el mismo de 408 kg ha<sup>-1</sup> (11%). Por su parte, el cultivo de soja de segunda tiene mayor probabilidad de sufrir deficiencia de S debido a la extracción del nutriente del

cultivo antecesor. Por este motivo, se determinaron incrementos promedio de 405 kg ha<sup>-1</sup> (16%) en el 44% de 18 ensayos (Echeverría et al., 2011; Divito y Echeverría, 2014). Cabe aclarar que muchos de estos ensayos fueron realizados en sitios donde las condiciones ambientales y de manejo indicaban alta probabilidad de respuesta a la aplicación de S.

**Indicadores de suelo:** En el cultivo de soja de primera, la disponibilidad de sulfato (S-sulfato) en el suelo (0-60 cm) no ha permitido predecir la respuesta a la aplicación de S (Divito y Echeverría, 2014), o se han encontrado relaciones muy débiles ( $R^2 = 0.27$ ) entre dichas variables (Ferraris, 2005). Sin embargo, adicionando al contenido de S-sulfato la relación materia orgánica/arcilla (MO/As) la predicción de la respuesta a S fue de 84% (Ferraris, 2005). Si bien estos resultados requieren ser validados, refuerzan la importancia de considerar las características del suelo para el diagnóstico. De manera similar, el rendimiento relativo (RR) de la soja de segunda tampoco se asoció aceptablemente con el



**Figura 1. Rendimiento relativo de soja de segunda en función de la disponibilidad de S (S-sulfato + S del fertilizante) en el suelo en ensayos de fertilización azufrada de las campañas 2007, 2008 y 2009 (Echeverría et al., 2011).**



**Figura 2. Relación entre la concentración total de N y S en granos de soja provenientes de cultivos con y sin respuesta a la aplicación de S. Adaptado de Salvagiotti et al. (2012).**

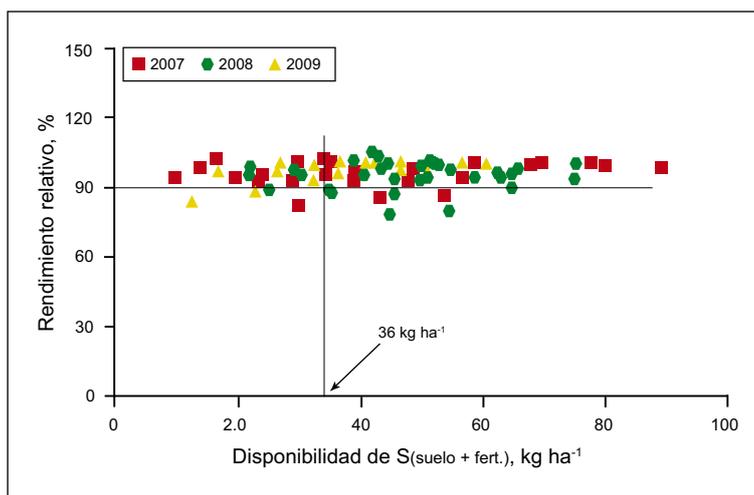
contenido de S-sulfato en los primeros 60 cm del suelo (Echeverría et al., 2011). A pesar de ello, dichos autores propusieron un umbral de 40 kg S ha<sup>-1</sup>. Es importante destacar que la mayoría de los tratamientos mal diagnosticados correspondieron a situaciones con bajo nivel de S-sulfato y ausencia de respuesta en rendimiento, lo cual se debería al déficit hídrico sufrido durante el ciclo (**Figura 1**). Asimismo, el umbral mencionado coincide con el reportado para la región pampeana Núcleo por Thomas et al. (2002) y permiten considerar al S-sulfato en suelo como aceptable método de diagnóstico.

**Indicadores de planta:** Trabajos recientes indican una buena performance de las metodologías de análisis de hojas del estrato superior, biomasa aérea total (ambos muestreados entre R1 y R3, Fehr y Caviness, 1977) y grano (Divito, inédito). Para dichos órganos fue posible definir umbrales críticos de 2.2, 1.9 y 3.3 g S kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Asimismo, el diagnóstico fue más preciso mediante el empleo de la relación N:S, para la cual se definieron valores críticos de 15:1, para hojas y biomasa aérea total y de 16:1 para grano (Divito, inédito). Por su parte, Salvagiotti et al. (2012) propusieron el uso combinado de la concentración de S y de la relación N:S en grano, siendo los umbrales 2.65 g S kg<sup>-1</sup> y 22:1, respectivamente (**Figura 2**). De esta forma pudieron diagnosticar correctamente el 100% y el 55% de los sitios sin y con deficiencia de S, respectivamente. Si bien con dichos umbrales se pudo tener un buen desempeño del método, los mismos difieren de los citados generalmente por la bibliografía.

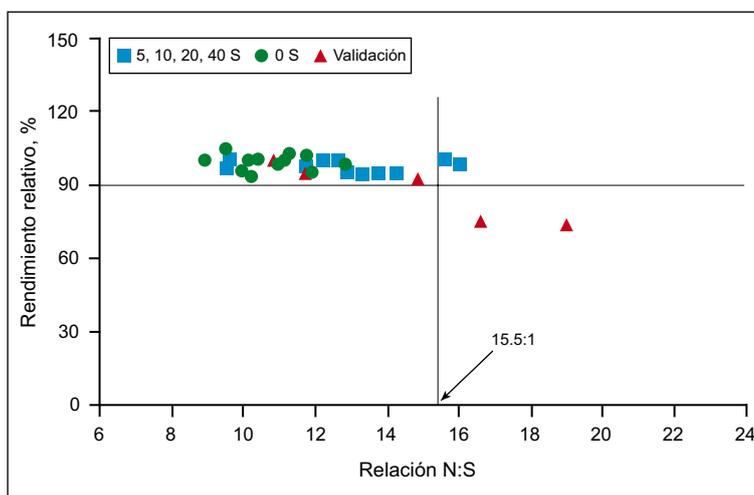
Respecto al uso de índices ópticos, los resultados obtenidos con el ISS son auspiciosos, dado que lograron predecir la respuesta en rendimiento en ensayos de soja de primera (Divito et al., 2014) y soja de segunda (Divito y Echeverría, 2014). Sin embargo, cabe aclarar que el mejor desempeño de dicha metodología se observó en situaciones de severas deficiencias, como las ocurridas en la soja de segunda.

### Trigo

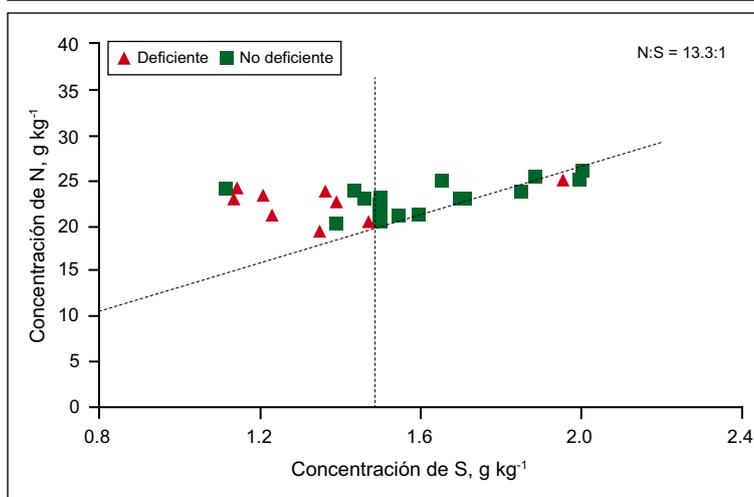
A pesar del bajo requerimiento de S del cultivo (4.5 kg S t<sup>-1</sup> grano), en los últimos años se ha observado respuesta positiva a la fertilización con este nutriente en la región pampeana. La respuesta media fue de 245 kg grano ha<sup>-1</sup>, según información generada entre 1995-2009 (Steinbach y Álvarez, 2012). Por su parte, en una red más reciente de 30 ensayos en dicha región, se determinó un 17% de sitios con respuesta, siendo el aumento medio del rendimiento del 12% (Echeverría et al., 2011).



**Figura 3.** Rendimiento relativo de trigo en función de la disponibilidad de S (S-sulfato + S del fertilizante) en suelo en ensayos de fertilización azufrada de las campañas 2007, 2008 y 2009. n = número de muestras (n = 132) (Echeverría et al., 2011).



**Figura 4.** Rendimiento relativo de trigo en función de la relación N:S en el estadio de un nudo visible, para ensayos realizados con dosis de 0, 5, 10, 20 y 40 kg S ha<sup>-1</sup>. Adaptado de Reussi Calvo et al. (2011).



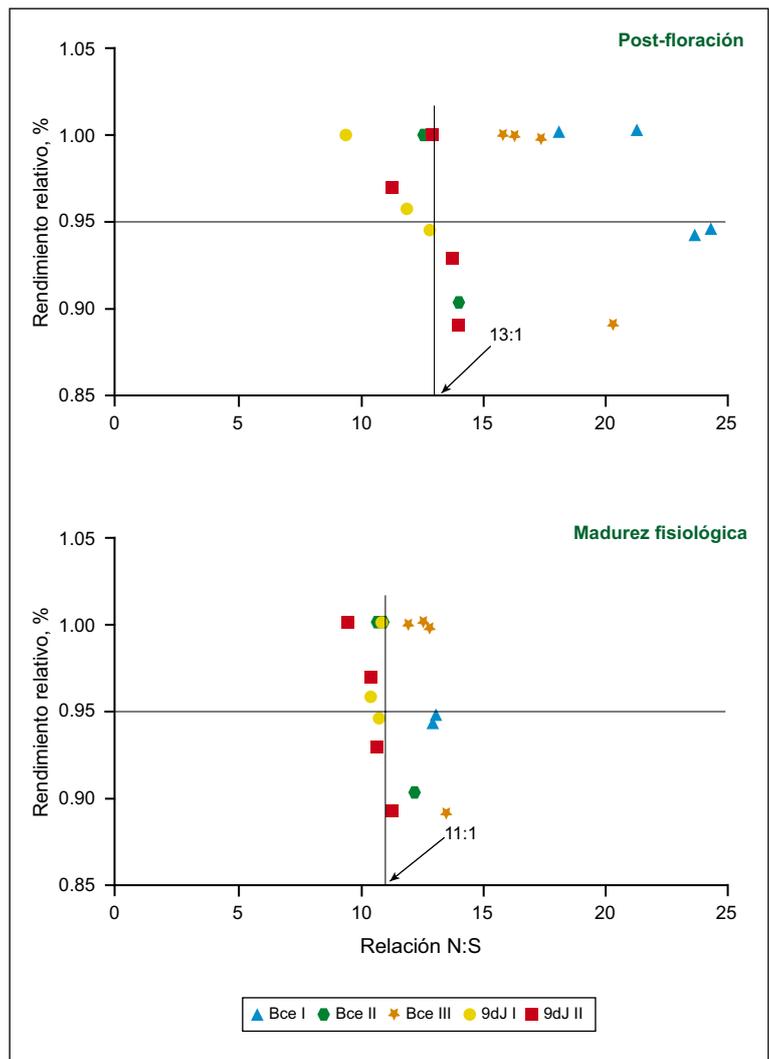
**Figura 5.** Relación entre la concentración total de N y S en granos de trigo provenientes de cultivos con y sin respuesta a la aplicación de S. Adaptado de Reussi Calvo et al. (2011).

**Indicadores de suelo:** Al intentar predecir la respuesta a la fertilización con S en función del contenido de sulfato en el suelo en presiembra, algunos autores no encontraron relación entre ambas variables (Steinbach y Alvarez, 2012; García et al., 2010). Sin embargo, en experiencias desarrolladas en el sudeste bonaerense se han determinado aceptables relaciones entre dicha variable y el RR del cultivo (Reussi Calvo et al., 2006). En la misma línea, considerando un RR del 90% y un umbral de  $36 \text{ kg S ha}^{-1}$  (Beaton y Soper, 1986), el RR del trigo se asoció con la disponibilidad de S (Echeverría et al., 2011), diagnosticando correctamente el 80% de los casos (**Figura 3**). Cabe aclarar que, de manera similar a lo discutido para soja, muchos de los sitios mal diagnosticados correspondieron a situaciones de bajo nivel de sulfato donde no se observó respuesta en rendimiento. Esto podría deberse en parte a deficiencias hídricas y por ende baja demanda de S por el cultivo, y también al aporte de sulfato sub-superficial, por agua de napa o el proveniente de la mineralización.

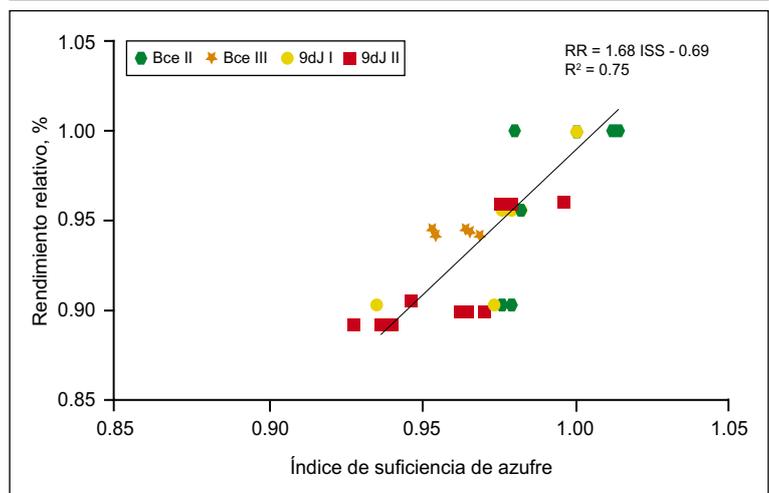
Así, los resultados permiten considerar al sulfato en suelo (0-60 cm) como elemento de diagnóstico inicial; y según éste la probabilidad de respuesta a la fertilización aumenta cuando la disponibilidad es inferior a  $36 \text{ kg S ha}^{-1}$ .

**Indicadores de planta:** La determinación de la relación N:S total en biomasa aérea y en grano son los indicadores que con mayor frecuencia se utilizan para el diagnóstico de deficiencias de S. El empleo de la relación N:S crítica en biomasa aérea de 16:1, desde inicio de macollaje hasta fin de encañazón (**Figura 4**), permitió diagnosticar correctamente entre 90 y 100% de las muestras de cultivos de trigo del sudeste bonaerense (Reussi Calvo et al., 2011). Utilizando dicho umbral se logró diagnosticar correctamente el 95% de las muestras provenientes de ensayos de varias zonas de la región pampeana (Echeverría et al., 2011).

Para el análisis de grano de trigo se propone el uso conjunto de la concentración de S total y de la relación N:S de los mismos, como un índice de la disponibilidad de S que tuvo el cultivo. Granos provenientes de cultivos que manifestaron respuesta a S son aquellos con una concentración menor a  $1.5 \text{ g S kg}^{-1}$  y con una relación N:S mayor a 13:1 (Reussi Calvo et al., 2011). De esta forma, Reussi Calvo et al. (2011) pudieron diagnosticar correctamente el 77% de las muestras (**Figura 5**); mientras que Echeverría et al. (2011) obtuvieron un 98% de los sitios diagnosticados correctamente, lo cual reafirma la robustez de dicho método de diagnóstico y umbrales.



**Figura 6. Rendimiento relativo en función de la relación N:S en planta entera de maíz para diferentes momentos del ciclo del cultivo. Datos provenientes de ensayos en Balcarce (Bce) y 9 de Julio (9dJ) (Pagani y Echeverría, 2011).**



**Figura 7. Relación entre el rendimiento relativo y el índice de suficiencia de azufre determinado en el estrato superior del canopeo de maíz durante el periodo V6-V14. Datos provenientes de ensayos en Balcarce (Bce) y 9 de Julio (9dJ) (Pagani y Echeverría, 2011).**

Respecto al empleo de medidores de la transmitancia foliar, Loewy y Ron (2008) indicaron que en 3 de 6 ensayos el IV fue menor en el tratamiento que no recibió S, en determinaciones realizadas en espigazón. Sin embargo, sólo uno de estos mostró diferencias en el rendimiento en grano asociadas al IV.

### Maíz

El maíz es un cultivo que tiene bajo requerimiento de S por tonelada de grano (4 kg S t<sup>-1</sup>) pero, dado que en comparación con otros cultivos sus rendimientos son superiores, requiere en total una mayor cantidad de S. Es por esto que se han encontrado importantes respuestas a la aplicación de fertilizantes azufrados. Steinbach y Álvarez (2012) reportaron a través de un meta-análisis para la región pampeana 715 kg de

grano ha<sup>-1</sup> de respuesta promedio. Similares respuestas fueron determinadas por Pagani y Echeverría (2011) en el sudeste y norte de Buenos Aires, con incrementos del rendimiento del 11%. Por su parte, Ferraris et al. (2006) hallaron respuesta al agregado de S en 9 de 19 ensayos realizados en la zona núcleo, siendo la misma en promedio de 1100 kg ha<sup>-1</sup>, lo que representa un aumento en el rendimiento del 13%. Es válido aclarar que, al igual que para los cultivos de soja y trigo, la proporción de sitios con respuesta y los incrementos de rendimiento mencionados, no son generales para la región pampeana, ya que la mayoría de los ensayos fueron realizados en sitios que por sus condiciones ambientales y de manejo presentaban alta probabilidad de respuesta a la aplicación de S.

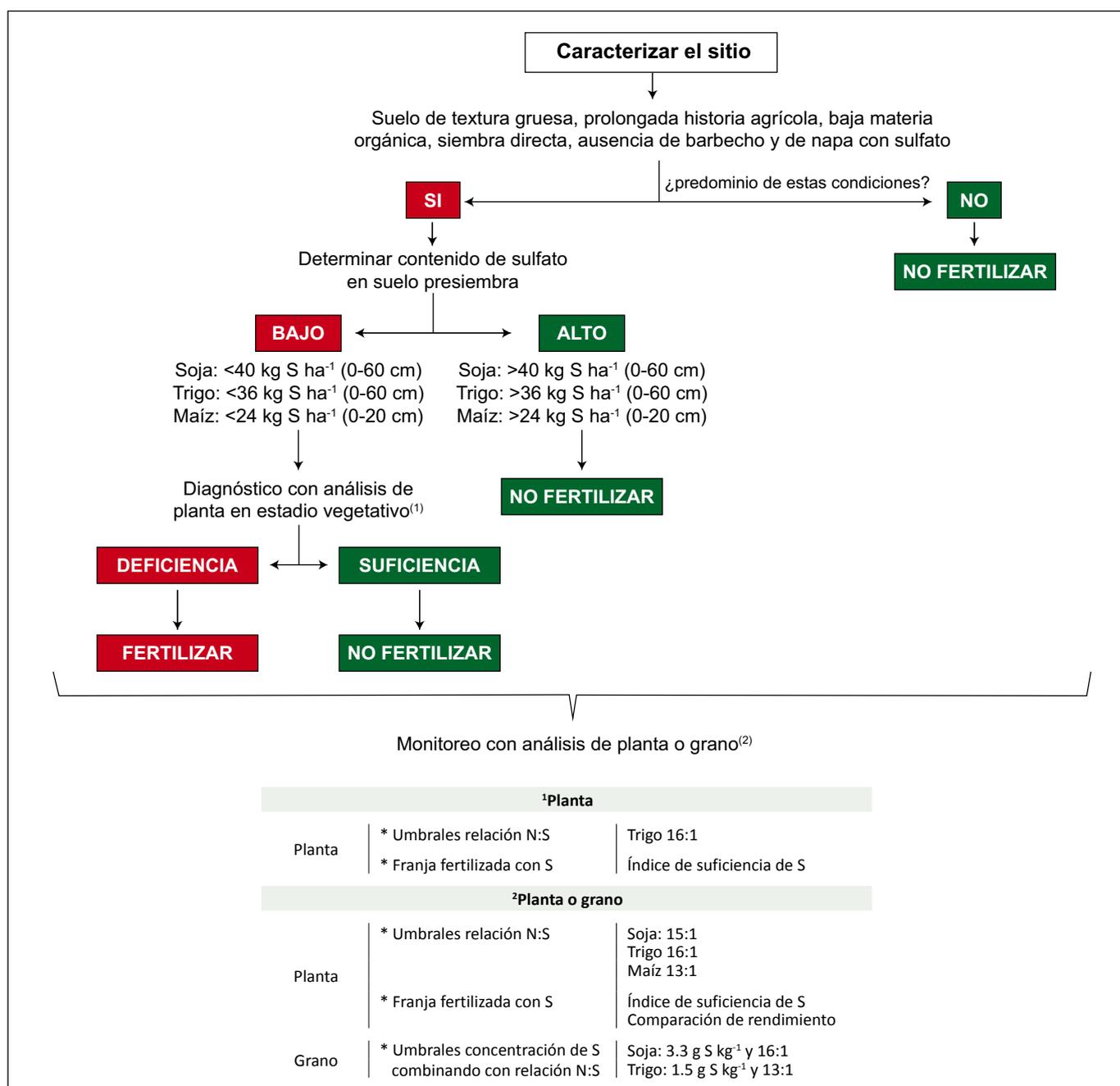


Figura 8. Árbol de decisión para la fertilización azufrada en los cultivos de soja, trigo y maíz en la región pampeana.

**Indicadores de suelo:** Diversos trabajos han intentado predecir la respuesta a S basándose en la disponibilidad de sulfato en el suelo (0-60 cm) a la siembra. Sin embargo, la mayoría de ellos no encontraron relación entre ambas variables (Salvagiotti et al., 2005; Ferraris, et al. 2006; Pagani y Echeverría, 2011; Steinbach y Álvarez, 2012). Una excepción a ello son los resultados reportados por García et al. (2010) quienes proponen un umbral del contenido de sulfato en suelo (0-20 cm) de 24 kg S ha<sup>-1</sup>. De manera similar a lo discutido para soja y trigo, muchos de los sitios mal diagnosticados correspondieron a situaciones de bajo sulfato donde no se observó respuesta en rendimiento. Es por esto que el mencionado umbral requiere ser validado. También se intentó relacionar la respuesta a S con otras variables edáficas como MO, nitrato y relación MO/arcilla + limo, pero ninguna de ellas resultó exitosa (Pagani y Echeverría, 2011; Ferraris et al., 2006).

**Indicadores de planta:** Tanto la concentración de S total como la relación N:S en planta no permitieron caracterizar el estatus azufrado del cultivo en estadios tempranos de desarrollo (Pagani y Echeverría, 2011). Sin embargo, en el estadio de post-floración y en madurez fisiológica, el 78 y 89% de las muestras fueron correctamente caracterizadas considerando un rendimiento relativo del 90% y una concentración de S crítica de 0.9 y 0.95 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Por su parte, para los mismo estadios, 67 y 72% de las muestras fueron correctamente diagnosticadas (**Figura 6**), considerando un RR de 95% y una relación N:S crítica de 13:1 y de 11:1, respectivamente (Pagani y Echeverría, 2011). Dado que dichas calibraciones fueron realizadas con pocos sitios y moderada deficiencia de S, surge la necesidad de validar los umbrales. Respecto al análisis de granos, no se han reportado hasta el momento trabajos en el tema, por lo que no se cuenta con umbrales para su empleo como método de diagnóstico.

Por otra parte, mediante el uso del medidor de clorofila, Pagani y Echeverría (2011) determinaron relaciones significativas entre el RR y el ISS en estadios vegetativos del cultivo (**Figura 7**), siendo mayor dicha relación cuando las mediciones se realizaron en hojas del estrato foliar superior. Sin embargo, y al igual que lo ocurrido en soja y trigo, no se cuenta hasta el momento con umbrales para dicho método. Es por esto, que se propone el uso del mismo como metodología para caracterizar el estatus azufrado del cultivo de maíz, pero se requiere continuar evaluando esta herramienta.

### Consideraciones finales

La información generada en la última década permite establecer que la deficiencia de S en la región pampeana no es generalizada, pero existen ciertas condiciones que favorecen su ocurrencia (suelos de textura gruesa, baja MO, ausencia de barbechos, ambientes de alta productividad, etc.) (**Figura 8**).

El empleo de la disponibilidad de S en suelo en presiembra no ha logrado una adecuada caracterización del estatus azufrado de los cultivos. La falla más común es la ausencia de respuesta en sitios con baja disponibilidad de sulfato (**Figura 8**). Por lo tanto, se propone continuar evaluando dicha metodología, incluyendo los aportes de:

- i) S por mineralización
- ii) Desde horizontes sub-superficiales
- iii) Por la napa de agua, para mejorar el diagnóstico, pese a que ello complejizaría el método.

Se han establecido umbrales que permiten diagnosticar el estatus azufrado del cultivo a partir de la relación N:S en planta, y de su uso combinado con la concentración de S total en grano (**Figura 8**). Sin embargo, sería conveniente validar dichos umbrales.

La determinación del ISS permitió caracterizar la disponibilidad de S en los tres cultivos, por lo que se propone su uso como metodología rápida y de bajo costo (**Figura 8**). Sin embargo, se requiere continuar evaluando dicho método a fin de definir con más precisión los umbrales de deficiencia.

Si bien en los últimos años se ha avanzado en el desarrollo y evaluación de métodos de diagnóstico de la disponibilidad de S, resta generar más información sobre metodologías que permitan un diagnóstico preciso, simple y de bajo costo.

### Agradecimientos

El presente trabajo forma parte del proyecto de la UNMdP AGR447/14, del FONCyT PICT 2011-1796 y de proyectos del PN Suelos y PN CyOle del INTA.

### Bibliografía

- Beaton, J., y R. Soper. 1986. Plant response to sulfur in Western Canada. In: Sulfur in Agriculture, ed. M. Tabatabai, pp. 375-405. Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA
- Divito, G.A., y H.E. Echeverría. 2014. Deficiencia de azufre en soja en el sudeste bonaerense: ¿una cuestión cada vez más recurrente? Revista técnica: soja. AAPRESID. pp. 67-71.
- Divito, G.A., J.P. Martínez, y H.E. Echeverría. 2014. Deficiencia de azufre en soja en el sudeste bonaerense: diagnóstico con índices ópticos. Actas XXVI Congr. Arg. de la Ciencia del Suelo y II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Bahía Blanca, Argentina. 5 - 9 de mayo. En CD.
- Echeverría, H., N. Reussi Calvo, A. Pagani, y L. Fernández. 2011. Métodos de diagnóstico de deficiencia de azufre en los cultivos de trigo, soja de segunda y maíz. Presentado en Simposio Fertilidad 2011. pp. 98-107.

- Echeverría, H.E., N.I. Reussi Calvo, y A. Pagani. 2015. Azufre. En: H.E. Echeverría y F.O. García (Eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 287-315.
- Fehr, W.R., y C.E. Caviness. 1977. Stages of Soybean Development. Iowa State University, Ames, Iowa - USA.
- Ferraris, G. 2005. Pautas para el diagnóstico de la fertilidad azufrada en soja. Tesis MSc. EPG-FAUBA. 176 p.
- Ferraris, G., F. Gutiérrez Boem, P. Prystupa, F. Salvagiotti, L. Couretot, y D. Dignani. 2006. Fertilización azufrada en maíz, evaluación de la respuesta del cultivo y análisis de metodologías de diagnóstico de la fertilización azufrada: reporte final. Proyecto Regional Agrícola. Desarrollo Rural INTA Pergamino. [en línea] <www.profertilnutrientes.com.ar> [consulta: 9 febrero 2015].
- García, F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo, y N. Reussi Calvo. 2010. La red de nutrición de la región Crea Sur de Santa Fe: resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola - AACREA. 64 p.
- Gutiérrez Boem, F.H., M. Barraco, H. Echeverría, G. Ferraris, P. Prystupa, A. Quiroga, F. Salvagiotti, y H. Vivas. 2006. Identificación de sitios deficientes en azufre mediante el análisis de grano de soja. [en línea] <www.acsoja.org.ar> [consulta: 9 de febrero 2015].
- Hahtonen, M. y I. Saarela. 1995. The effects of sulfur application on yield, sulfur-content and N:S-ratio of grasses for silage at six sites in Finland. Acta Agric. Scand. Section B. Soil Plant Science. 45:104-111.
- Loewy, T., y M.M. Ron. 2008. Fertilización nitro-azufrada, expresión del índice de verdor y rendimiento del nitrógeno en trigo. Actas 7° Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. 2 - 4 de julio. En CD.
- Pagani, A., H.E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes en la provincia de Buenos Aires. Ciencia del Suelo. 27:21-29.
- Pagani, A., y H.E. Echeverría. 2011. Performance of sulfur diagnostic methods for corn. Agronomy Journal. 103:413-421.
- PROINSA. 2013. Ronda interlaboratorio para análisis de suelos agropecuarios. [en línea] <www.minagri.gov.ar> [consulta: 9 febrero 2015].
- Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 24:77-87.
- Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2011. Diagnosing sulfur deficiency in spring red wheat: plant analysis. Journal of Plant Nutrition. 34:573-589
- Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2012. Stability of foliar N:S ratio in spring red wheat and sulphur dilution curve. Journal of Plant Nutrition. 35:990-1003.
- Russi, D., F. Gutiérrez Boem, P. Prystupa, y G. Rubio. 2010. Análisis interlaboratorios de sulfatos en suelos II: Análisis de exactitud. Actas XXII Congr. Arg. Ciencia del Suelo. Rosario Argentina. 31 de mayo al 4 de junio. En CD.
- Salvagiotti, F., F. Gutiérrez Boem, G. Ferraris, P. Prystupa, L. Couretot, y D. Dignani. 2005. Respuesta del maíz a dosis crecientes de azufre y su relación con variables del suelo. Para mejorar la producción - INTA EEA Oliveros. 29:61-66.
- Salvagiotti, F., y D.J. Miralles. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. European Journal of Agronomy 28:282-290.
- Salvagiotti, F., G. Ferraris, A. Quiroga, M. Barraco, H. Vivas, P. Prystupa, H. Echeverría, y F. Gutiérrez Boem. 2012. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. Field Crops Reserch. 135:107-115.
- Steinbach, H.S., y R. Alvarez. 2012. Revisión del efecto de la fertilización con azufre sobre el rendimiento de trigo, maíz y soja en la región pampeana. Actas XIX Congr. Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congr. Arg. de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina 16 - 20 de abril.
- Thomas, A., M. Boxler, B. Alvarez de Toledo, R. Houssay, L. Martín, A. Berardo, y F. García. 2002. Red de ensayos de nutrición de cultivos, región CREA sur de Santa Fe, resultados de la campaña 2001/2: soja I y soja II. 13 p. [en línea] < www.ipni.net > [consulta: 9 febrero 2015].

## Cursos y Simposios

- VII Congreso Brasileiro de Soja – Mercosoja 2015**

**Organiza** : EMBRAPA  
**Lugar** : Florianópolis, Santa Catarina, Brasil  
**Fecha** : Junio, 22-25, 2015  
**Información** : <http://cbsoja.com.br>
- Simposio Internacional de Manejo Responsable – Alimentando Cultivos para Alimentar al Mundo**

**Organiza** : CFI-IPNI-IFA-TFI  
**Lugar** : Calgary, Alberta, Canadá  
**Fecha** : Julio 14-15, 2015  
**Información** : <http://stewardshipsymposium.com>
- Taller “Análisis de suelos y evaluación de la fertilidad edáfica”**

**Organiza** : CPIA-AACS  
**Lugar** : Buenos Aires, Argentina  
**Fecha** : Julio 24, 2015  
**Información** : <http://cpia.org.ar>
- XIII Congreso Nacional de AAPRESID**

**Organiza** : AAPRESID  
**Lugar** : Rosario, Santa Fe, Argentina  
**Fecha** : Agosto, 5-7, 2015  
**Información** : <http://aapresid.org.ar>
- III Conferencia Interregional “Desafíos en Suelo y Agua”**

**Organiza** : INIA  
**Lugar** : La Estanzuela, Colonia, Uruguay  
**Fecha** : Septiembre, 28-30, 2015  
**Información** : <http://cigr2015.org>
- 5º Congreso de Ciencias Ambientales - COPIME 2015**

**Organiza** : COPIME  
**Lugar** : Buenos Aires, Argentina  
**Fecha** : Octubre 7-9, 2015  
**Información** : <http://copime.org.ar/activities/detail/160>
- Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo: Contaminación y Remedación de Suelos**

**Organiza** : Universidad de Chile - SCHCS  
**Lugar** : Santiago, Chile  
**Fecha** : Octubre, 7-9, 2015  
**Información** : <http://schcs.cl>
- XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal**

**Organiza** : SOCHIPA-ALPA  
**Lugar** : Puerto Varas, Chile  
**Fecha** : Noviembre, 9-13, 2015  
**Información** : <http://alpa2015.com>
- II Encuentro Nacional de Docentes de la Ciencia del Suelo**

**Organiza** : AACS y UNSL  
**Lugar** : Villa Mercedes, San Luis, Argentina  
**Fecha** : Noviembre, 19-21, 2015  
**Información** : <http://suelos.org.ar>
- III Congreso de la División Agrícola y Ambiental de la AAM- CAMAyA 2015**

**Organiza** : División de Microbiología Agrícola y Ambiental (DiMAyA) (AAM)  
**Lugar** : Buenos Aires, Argentina  
**Fecha** : Noviembre, 25-27, 2015  
**Información** : <http://aam.org.ar>
- XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**

**Organiza** : AACS-UNRC  
**Lugar** : Río Cuarto, Córdoba, Argentina  
**Fecha** : Junio 27-Julio 1, 2016  
**Información** : <http://congresosuelo2016.org.ar>
- 12. Congreso Internacional de Citrus**

**Organiza** : IAC-IAPAR  
**Lugar** : Foz do Iguacu, SC, Brasil  
**Fecha** : Septiembre, 18-23, 2016  
**Información** : <http://icc2016.com>



## Publicaciones Disponibles

Titulo de la Publicación	Costo (US\$)	Costo (\$ arg.)
<b>NUEVO. Actas CD del Simposio Fertilidad 2015 "Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro".</b> Trabajos orales y posters presentados en el Simposio organizado por el IPNI y Fertilizar AC en Rosario (Argentina) en Mayo del 2015.	12.50	100.00
<b>Manual 4R de la Nutrición de Plantas.</b> El Manual 4R brinda una idea general de la base científica que define a los cuatro requisitos de manejo de la fertilización: aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar correctos, discutiendo la adopción de prácticas a campo y enfoques para la planificación del manejo de nutrientes.	30.00	250.00
<b>Actas CD del Simposio Fertilidad 2013 "Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable".</b> Trabajos orales y posters presentados en el Simposio organizado por el IPNI y Fertilizar AC en Rosario (Argentina) en Mayo del 2013.	6.00	50.00
<b>Simposio Fertilidad 2011.</b> La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de Producción. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2011.	10.00	80.00
<b>Manual de Manejo del Cultivo de Soja.</b> Aborda temáticas de fenología, manejo, nutrición y fertilidad, malezas, enfermedades y plagas del cultivo.	20.00	160.00
<b>Simposio Fertilidad 2009.</b> Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2009.	5.00	40.00
<b>Como se Desarrolla una Planta de Soja.</b> Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5.00	40.00
<b>Como se Desarrolla una Planta de Maíz.</b> Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5.00	40.00
<b>Síntomas de Deficiencias Nutricionales de Trigo, Maíz y Soja.</b> Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	5.00	40.00
<b>Manual Internacional de Fertilidad de Suelos.</b> Publicación didáctica sobre el uso y el manejo de suelos y fertilizantes.	15.00	120.00
<b>Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI Cono Sur en <a href="http://Lacs.ipni.net">http://Lacs.ipni.net</a></b>		

## Forma de pago de las publicaciones

### Argentina

- Depósito bancario a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Sucursal Olivos, Cta. Cte. N° 3856/4 053/5
- Transferencia bancaria a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Sucursal Olivos, Cta. Cte. N° 3856/4 053/5, CBU 0070053520000003856451 CUIT 30-70175611-4

Solicitamos nos haga saber por teléfono, fax o correo electrónico, la opción elegida y nos envíe los datos para acreditar su pago (datos de depósito o transferencia bancaria).

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

# ***NUEVO LIBRO!!!!***

## **FERTILIDAD DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS**

INTA e IPNI han editado el libro "**Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos**", cuyos compiladores son el Ing. Agr. M.Sc. Hernán E. Echeverría y el Dr. Fernando O. García y que incluye la participación de más de 30 reconocidos autores de los 34 capítulos y el anexo que integran la obra.

Este libro trata de cubrir dos finalidades específicas: por un lado, la didáctica universitaria y por otro, la actualización temática para profesionales. Para cumplir con la finalidad didáctica, se presentan los principios y conceptos fundamentales de la fertilidad de suelos y nutrición de cultivos. Se evitó recargar el contenido con aspectos relacionados a temáticas o disciplinas cercanas (química, física, geología, mineralogía, etc.), pero se citaron trabajos o textos que cubren esos aspectos. Para cumplir con la segunda finalidad, se realizó una puesta al día sobre las novedades en metodología de diagnóstico de deficiencias y prácticas de fertilización.

**El libro está disponible en IPNI Cono Sur:**

Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso

Buenos Aires - Argentina

Telf/Fax.: 54 11 4798 9939

Lpisauri@ipni.net

<http://Lacs.ipni.net>

