

Respuesta a la fertilización en diferentes grupos de madurez de soja en campañas climáticamente contrastantes

Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A. Couretot*

Introducción

La relación precio fertilizante:precio grano de soja ha mostrado constantes variaciones durante los últimos años (**Figura 1**), modificando en consecuencia los umbrales críticos económicos y afectando las decisiones de fertilización. Por este motivo, es necesario validar y actualizar los criterios de recomendación teniendo en cuenta parámetros de suelo y los adelantos permanentes en la tecnología de producción.

Tradicionalmente, se ha asociado la respuesta a la fertilización en soja con variables de suelo como el nivel de fósforo (P) extractable, o el contenido de materia orgánica (MO) y azufre (S) extractable (Barbagelata, 2001; Ferraris et al., 2004; García et al., 2006; Ferraris, 2010; Echeverría et al., 2011; Gutiérrez Boem et al., 2011). Sin embargo, ha sido menos explorado si existe asociación entre la respuesta a la fertilización y variables que determinan la calidad del ambiente productivo, como el potencial de rendimiento del lote, atributos físicos y biológicos del suelo, o aspectos que tienen que ver con el manejo del cultivo, como el grupo de madurez (GM) del genotipo elegido, el distanciamiento entre hileras o la fecha de siembra. Generar este conocimiento es relevante puesto que, por razones económicas y ambientales, la fertilización debería estar dirigida a aquellos ambientes y situaciones productivas con mayor probabilidad de respuesta.

Este artículo reporta los resultados de dos ensayos realizados con el objetivo de profundizar el estudio de la interacción entre la respuesta a la fertilización en soja y las variables de cultivo, como el genotipo y la variedad utilizada. Los supuestos del trabajo son que el genotipo y la fertilización afectan el rendimiento del cultivo en la región de estudio, siendo la respuesta a la fertilización variable según el genotipo y el ambiente productivo.

Materiales y métodos

Se realizaron dos ensayos de campo durante dos campañas agrícolas (2010/11 y 2011/12) en el Campo

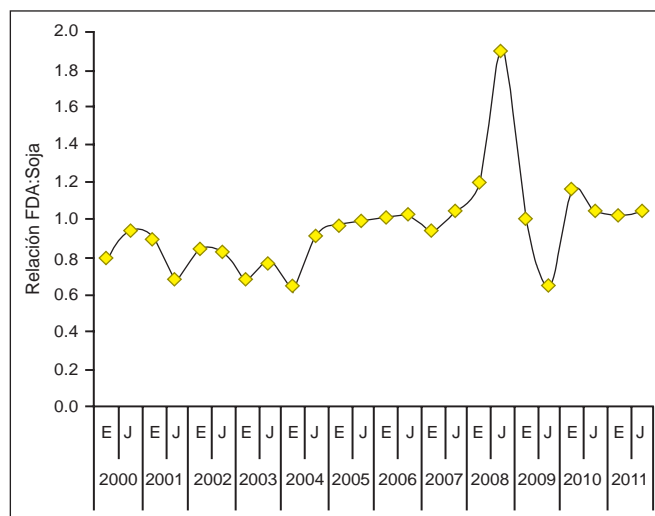


Figura 1. Relación internacional entre el precio del fosfato diamónico (FPA, 18-20-0) y el precio del grano de soja, entre 2000 y 2011 (E=Enero, J=Julio). Adaptado de Campos Carlés et al. (2012), a partir de datos del Banco Mundial.

Experimental de la EEA INTA Pergamino. Algunas características de sitio y manejo de los experimentos se presentan en la **Tabla 1**.

El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar, con tres repeticiones, con los tratamientos dispuestos en un factorial con cinco genotipos, representando tres GM (**Tabla 2**), en combinación con cuatro estrategias de fertilización: Testigo absoluto; fósforo ("P", 100 kg ha⁻¹ SFT); P más S ("PS", con SFT más 83 kg ha⁻¹ de yeso), y PS más microelementos ("PS Micros" con SFT, yeso y B y Zn foliares en formas de óxidos, formulaciones floables de alta concentración). Por su parte, en la **Tabla 3** se describen variables de suelo relevantes para la producción del cultivo.

La cosecha se realizó en forma mecánica. Los datos obtenidos fueron analizados por análisis de varianza, estudiando los efectos de genotipo, estrategias de fertilización y la interacción entre genotipos y estrategias.

Tabla 1. Características de sitio y manejo de los experimentos.

Sitio	Serie de Suelo	Tipo de suelo	Clase de uso	Localización del ensayo	Fecha de siembra	Espaciamiento entre hileras (m)	Densidad de siembra
Pergamino 2010/11	Pergamino	Argiudol típico	I-II	33°57'09" 60°34'12"	22-Nov	0.32	42 pl m ⁻²
Pergamino 2011/12	Pergamino	Argiudol típico	I-II	33°57'29" 60°34'29"	22-Nov	0.40	37.5 pl m ⁻²

* Proyecto Regional Agrícola-CRBAN. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4.5 (2700) Pergamino. Correo electrónico: nferraris@pergamino.inta.gov.ar

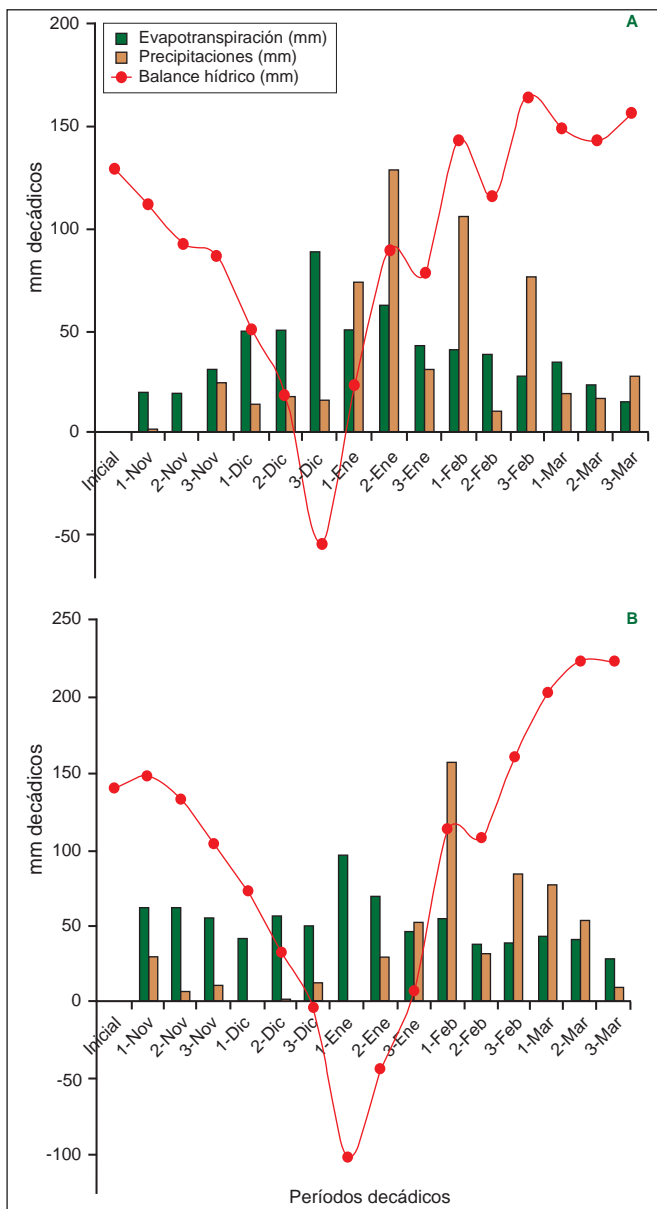


Figura 2. Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádicos (considerando 2 m de profundidad) en EEA INTA Pergamino, Buenos Aires. A) Campaña 2010/11: Precipitaciones totales 581.6 mm. Déficit acumulado 91 mm. B) Campaña 2011/12: Precipitaciones totales 561.6 mm. Déficit acumulado 157 mm.

Resultados y discusión

Condiciones climáticas de la campaña

Las condiciones ambientales fueron diferentes entre campañas. Si bien ambas se desarrollaron en un contexto limitado de humedad, en el primer año el periodo de mayor sequía fue menos pronunciado y anticipado a diciembre, permitiendo una mejor recuperación del cultivo; mientras que en 2011/12, la sequía fue de mayor intensidad y ocurrió hacia el mes de enero (Figura 2).

Efecto de tratamientos e interacciones

En la **Tabla 4** se presentan los resultados de variables cuantificadas durante el ciclo de cultivo. Variables como altura de planta, cobertura y severidad de vuelco se asociaron de manera directa con la longitud de ciclo, caracterizado a través de un GM creciente. En el mismo sentido se reflejó el efecto de la fertilización, mejorando además la intensidad de verde medida por SPAD, aunque sin aumentar el vuelco. Los efectos positivos de la fertilización sobre crecimiento –altura, cobertura e intensidad de verde fueron más acentuados bajo las condiciones especialmente restrictivas de la campaña 2011/12, expresando probablemente la influencia favorable del P en condiciones de recursos limitados. En este sentido, Gutiérrez Boem y Thomas (2002) y Ferraris (2010) informaron respuesta a este nutriente bajo estrés hídrico moderado a severo.

En ambos experimentos se determinó efecto de fertilización ($p < 0.01$) y genotipo ($p < 0.01$) sobre los rendimientos (**Tabla 5**). En el primer ensayo, se verificó interacción Genotipo x Fertilización ($p = 0.02$). Esto significa que la respuesta a la fertilización fue diferencial entre genotipos. Por el contrario, en el segundo año la respuesta fue uniforme, no registrando interacción ($p = 0.42$).

En la **Figura 3** se presentan los resultados de la interacción Genotipo x Fertilización para la campaña 2010/11, y en la **Figura 4** el promedio de los factores Genotipo y Fertilización por separado para 2011/12, puesto que la interacción Genotipo x Fertilización no fue significativa. Los rendimientos, en la campaña 2010/11, variaron entre 3429 kg ha^{-1} (GM V C, Testigo) y 6166 kg ha^{-1} (GM IV C, PS)

(**Figura 3**). La respuesta media a la fertilización (promedio [P, PS, PS+ZnB] – promedio Testigo) fue de 380 kg ha^{-1} (**Figura 3**), pero fue muy contrastante entre GM: los GM III C, GM IV C y GM V C presentaron alta respuesta, intermedia en el GM IV L y prácticamente nula en el GM III L. Ante condiciones favorables de suelo, clima, y fecha de siembra, las variedades de GM corto predominaron sobre las más largas, a lo que se suma que estas últimas registraron un alto grado de vuelco (**Tabla 4**), sometiendo a las plantas a auto-sombreo y enfermedades.

Tabla 2. Genotipos evaluados en los dos ensayos.

Sitio	Grupo de madurez				
	GM III C	GM III L	GM IV C	GM IV L	GM V C
Pergamino 2010/11	SPS 3x1 RR	DM 3810 RR	DM 4210 RR	A 4990 RG	A 5009 RG
Pergamino 2011/12	SPS 3x1 RR	DM 3810 RR	DM 4210 RR	FN 4.5 RR	A 5009 RG

Tabla 3. Análisis de suelo al momento de la siembra para los sitios de ensayo (0-20 cm).

Sitio	P Bray I (0-20 cm) (mg kg^{-1})	MO (0-20 cm) (%)	S-Sulfatos (0-20 cm) (mg kg^{-1})	pH	Zn (mg kg^{-1})	B (mg kg^{-1})
Pergamino 2010/11	19.7	3.7	7.7	5.5	0.79	1.53
Pergamino 2010/11	15.7	2.39	12.7	5.3	0.84	0.63

Tabla 4. Variables relacionadas con el crecimiento y estructura de las plantas de soja para el tratamiento testigo y el tratamiento completo (P, S y Micros). EEA INTA Pergamino, campaña 2010/11. NOTA: Vuelco según escala: 1= todas las plantas erectas – 5 = todas las plantas volcadas.

Grupo de madurez	Fertilización	Campaña 2010/11				Campaña 2011/12			
		Altura (cm)	Cobertura R3 (%)	Spad R4	Vuelco R6	Altura (cm)	Cobertura R3 (%)	Spad R4	Vuelco R6
GM III C	Testigo	80	88	36.7	1.3	71	85	43.6	1.0
GM III L		85	92	41.4	1.3	76	88	45.3	1.0
GM IV C		82	95	41.7	1.2	80	90	45.5	1.0
GM IV L		90	94	39.9	4.0	89	95	48.6	1.0
GM V C		90	94	41.4	1.5	93	95	44.8	1.2
GM III C	P20S15+ZnB	85	92	43.2	1.0	73	87	41.3	1.0
GM III L		88	95	45.7	1.5	84	94	44.7	1.1
GM IV C		85	95	42.8	1.4	80	90	46.1	1.0
GM IV L		90	90	46.5	4.0	95	95	47.2	1.1
GM V C		90	90	44.5	2.5	82	90	43.3	2.0

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) para rendimiento del factorial Genotipo *estrategia de fertilización. Valores seguidos de *, ** y * representan efecto significativo del factor evaluado o interacción (p<0.1; 0.05 y 0.01, respectivamente), n.s. indica diferencias no significativas por efecto de tratamiento.**

Fuente de variabilidad	Campaña 2010/11	Campaña 2011/12
Genotipos	0.000 ***	0.000 *
Fertilización	0.005 ***	0.000 ***
GM*Fertilización	0.02 **	0.415 n.s
C.V	6.2 %	4.6 %

Claramente, la respuesta no está asociada a longitud de ciclo, y una variedad de un GM corto, con mayor índice de cosecha y potencial de rendimiento, y una más ajustada relación fuente:destino y un mayor índice de área foliar, no siempre sería el perfil genético de mayor potencial de respuesta a la fertilización. De este modo, la necesidad de lograr crecimiento y cobertura, tal como es prioritario en un grupo corto no sería el único parámetro crítico a mejorar con la fertilización. Son necesarios estudios fisiológicos y agronómicos más detallados para explicar los mecanismos asociados a la respuesta a la fertilización en soja.

En 2011/12, el rango de rendimientos fue de 3069 kg ha⁻¹ (GM III C, Testigo) hasta 4451 kg ha⁻¹ (GM III L, PS+ZnB). Los GM III L y IV C fueron los de mayor rendimientos superando a los GM IV L y V, mientras que el GM III C mostró el menor rendimiento (Figura 4A). Este GM III C, bajo un ambiente climático desfavorable, nunca alcanzó el nivel de crecimiento necesario para una completa captura de recursos (Tabla 4). Entre los tratamientos de fertilización se destacaron el P y el PS+ZnB, quienes superaron a los tratamientos PS y Testigo (Figura 4B). La interacción Genotipo x Fertilización no significativa indica que la respuesta a la fertilización fue más uniforme entre genotipos (GM) que en la campaña anterior (Tabla 5).

Si consideramos los resultados de ambas campañas, las respuestas a la fertilización no se relacionaron con los niveles de rendimiento alcanzados sin limitaciones nutricionales (tratamiento PS+ZnB) (Figura 5). Esto indicaría que las respuestas son independientes del potencial de rendimiento de las variedades y de la condición climática del año, considerando el contraste en disponibilidad hídrica entre ambas campañas.

Consideraciones finales

Los resultados obtenidos en estas experiencias muestran que la respuesta a la fertilización difirió entre genotipos en el año de menor limitación hídrica y, por lo tanto, con mayor potencial de rendimiento, con mejores rendimientos en algunos GM por sobre otros y sin relación con los rendimientos alcanzados. En la campaña de mayor limitación hídrica (2011/12), no se

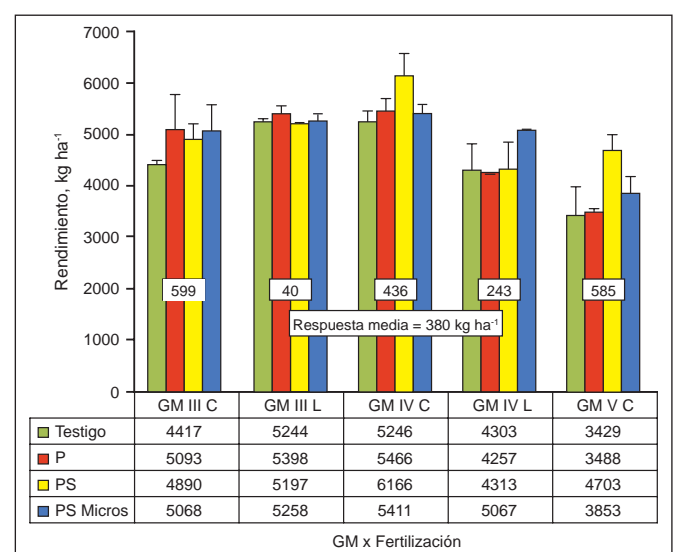


Figura 3. Rendimientos de la interacción entre GM y niveles de fertilización en soja. EEA INTA Pergamino, campaña 2010/11. El cuadro sobre la figura muestra la respuesta media a la fertilización [Promedio (P, PS y PS Micros) - Testigo] según GM, y debajo, la respuesta media de todas las variedades.

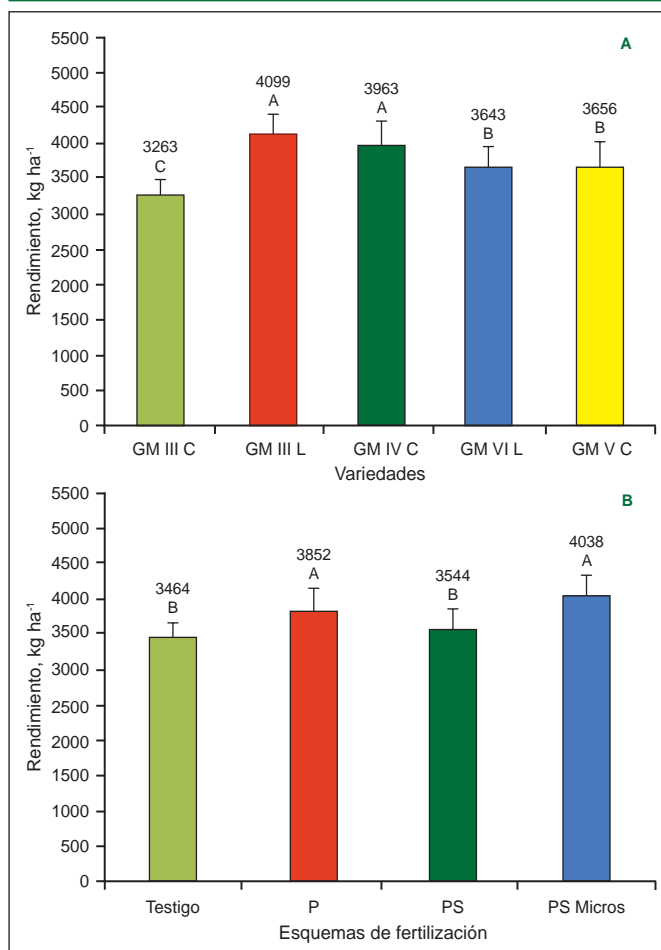


Figura 4. Rendimientos medios de: A) cinco GM y B) cuatro tratamientos de fertilización. EEA INTA Pergamino, campaña 2011/12. Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos. Las barras de error indican la desviación estándar de la media.

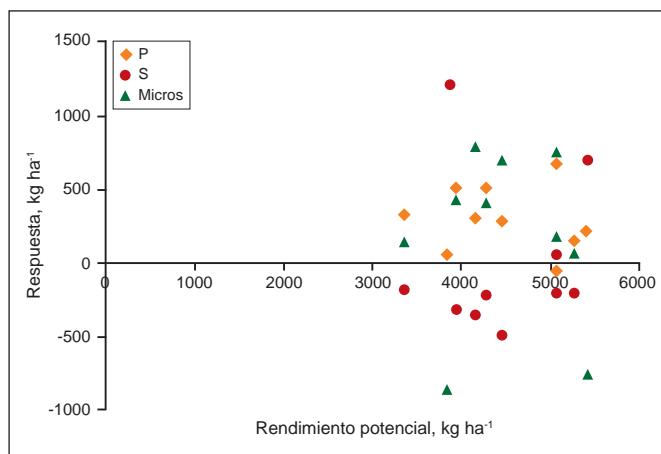


Figura 5. Relación entre la respuesta de soja a la fertilización con fósforo (P), azufre (S), o micronutrientes (Micros) (kg ha⁻¹) y el rendimiento del tratamiento sin agregado de esos nutrientes. EEA INTA Pergamino, campaña 2010/11 y 2011/12.

observaron diferencias en la respuesta a la fertilización entre los genotipos, a pesar de la caída en productividad del GM más corto.

Futuras experiencias permitirán ampliar el conocimiento de los efectos potenciales del GM, su estabilidad y potencial de rendimiento, en la respuesta a la fertilización.

Es muy importante, desde la toma de decisiones, saber si la fertilización sigue la misma tendencia entre genotipos (ausencia de interacción Genotipo x Fertilización), para así diseñar estrategias de recomendación comunes o diferentes para distintos grupos y variedades.

Desde el punto de vista de la fertilización, los resultados de este experimento confirman que P es el elemento más importante para soja en nuestra región, aun con niveles medios en los suelos (**Tabla 3**). Aunque en la región se cuantificaron respuestas a los mismos en investigaciones realizadas en los últimos años (Ferraris et al., 2004; Fontanetto et al., 2006; Echeverría et al., 2011; Ferraris y Couretot, 2011; Prystupa et al., 2012), las respuestas a S, B y Zn, no se pudieron verificar como estadísticamente significativas en estas experiencias.

Bibliografía

- Barbagelata, P.A., G.L. Briondi, R. Melchiori, y O. Paparotti. 2001. Estrategias para la fertilización fosforada de soja en siembra directa en vertisoles. Soja, Actualización Técnica. Serie Extensión No. 21. INTA EEA Paraná. pp. 54-57.
- Campos Carlés, S., P. Garré, y L. Pederiva. 2012. Precios. pp. 41-59. En: Campos Carles S. et al., (eds). Mercado de fertilizantes: La Argentina y el mundo. 1^{ra}. ed. AACREA, Bs As, 96 p.
- Echeverría, H., N. Reussi Calvo, A. Pagani, y L. Fernández. 2011. Métodos de diagnóstico de deficiencias de azufre en los cultivos de trigo, soja de segunda y maíz. pp. 98-107. En: Simposio Fertilidad 2011. La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de producción. IPNI-Fertilizar AC. Rosario, Santa Fe.
- Ferraris, G. 2010. Fertilización fosfatada en cultivos extensivos. Criterios de diagnóstico y herramientas tecnológicas para su manejo en el norte-centro-oeste de Buenos Aires y sur de Santa Fe (CD-ROM). Actas del XVIII Congreso Nacional de AAPRESID. "El Cuarto Elemento". Rosario, Santa Fe, Argentina. 9 p.
- Ferraris, G., y L. Couretot. 2011. Fertilización con micronutrientes en soja. Experiencias en la región centro - norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. En: Actas Mercosoja 2011. Un grano, un Universo. Rosario, 14 al 16 de Septiembre de 2011.
- Ferraris, G., F. Salvagiotti, P. Prystupa, y F.H. Gutiérrez Boem. 2004. Disponibilidad de Azufre y respuesta de la Soja de primera a la fertilización. En: Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos. CD-ROM. AACRS, Paraná, Junio de 2004. 10 p.
- García, F.O., L. Picone, y A. Berardo. 2006. Fósforo. pp 99-121. En: Echeverría H. y F. García (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Fontanetto, H., O. Keller, C. Negro, L. Belotti, y D. Giailevra. 2006. Inoculación y fertilización con cobalto y molibdeno sobre la nodulación y la producción de soja. Actas del III Congreso de Soja del Mercosur: 553-556.
- Gutiérrez Boem, F.H., F.O. García, y M. Boxler. 2011. ¿Qué tan distintos son los niveles críticos de fósforo disponible para soja, maíz y trigo? pp. 191-193. En: Simposio Fertilidad 2011. La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de producción. IPNI-Fertilizar AC. Rosario, Santa Fe.
- Gutiérrez, Boem F.H., y G. Thomas. 1998. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit. Agronomy Journal 90:166-171.
- Prystupa, P., M. Torres Duggan, y G.N. Ferraris. 2012. Tecnología de aplicación de micronutrientes en la Región Pampeana Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS). IPNI Cono Sur. No. 5:2-8. ✱