

“MICRONUTRIENTES EN REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA: POSICIONAMIENTO Y TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN”.

Ings. Agrs. (MSc) **Gustavo N. Ferraris** UCT Agrícola. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 (2700) Pergamino. 02477-439026 nferraris@pergamino.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Los planteos tecnológicos de alta producción de soja incluyen hoy el uso de fertilizantes fósforo-azufrados y también la inoculación como modo de proveer nitrógeno (N) al cultivo. Sin embargo, en cultivos de alto rendimiento o sobre suelos altamente degradados, otros elementos, denominados micronutrientes, podrían limitar la producción (Ferraris & Couretot, 2009 a.b.). El término “micronutriente” es utilizado en agricultura para denominar aquellos elementos esenciales para los cultivos, que se presentan en concentraciones extremadamente bajas en los suelos y tejidos vegetales (Torri et al., 2010). Para los cultivos extensivos de grano, existe evidencia de que Boro (B), Cobalto-Molibdeno (CoMo), Manganeseo (Mn) y Zinc (Zn) podrían ser potencialmente limitantes en la Región Pampeana Argentina (Ferraris et al., 2005; Ferraris, 2011, Fontanetto et al., 2006) y otras regiones del mundo (Prochnow et al., 2009; Scheid López, 2006)

En adelante, detallaremos un conjunto de factores que, sobre la base de los datos generados en las últimas campañas, deberían ser observados para avanzar en el diagnóstico nutricional del cultivo.

COMO POSICIONAMOS A LOS MICROELEMENTOS? SIETE PASOS EN EL DIAGNÓSTICO DE DEFICIENCIAS.

1. Análisis de nutrientes en suelo.

El análisis del contenido de un nutriente en suelo es la herramienta básica, y la primera que debe correlacionarse con el rendimiento o la respuesta a la fertilización. En algunos casos se tiene en cuenta la concentración en la solución del suelo, mientras que en otras ocasiones se considera la fracción intercambiable, o formas orgánicas lábiles fácilmente disponibles por mineralización.

Con excepciones, aquellos elementos de baja movilidad en suelo presentan menor variabilidad temporal y su concentración está menos expuesta a factores ambientales. La respuesta a su aplicación depende principalmente del contenido en el suelo, más que de la demanda generada por el nivel de productividad del cultivo, por lo tanto la confiabilidad de los análisis de suelo aumenta. Ferraris et al, (2012) analizaron la respuesta a Zinc (Zn) en maíz en siembras tempranas de setiembre-octubre. Sobre experimentos conducidos entre 2008/09 y 2011/12, determinaron que el análisis de suelo separaba eficazmente 14 (18) sitios mediante el método de cuadrantes, tomando la concentración de 1 ppm en capa superficial de suelo (0-20 cm) y un rendimiento relativo RR= (Rendimiento testigo/Rendimiento fertilizado) de 0,95 por debajo del cual se considera respuesta efectiva (Figura 1). Criterios de este tipo han sido recomendados en regiones deficientes de EEUU (Pais y Benton Jones, 2000) y Brasil (Galrao,1996, Scheid López, 2006)

Tabla 1: Umbrales críticos de respuesta a Zinc sugeridos para diferentes cultivos, correspondiendo a muestras de 0-20 cm profundidad (citado por Scheid López, 2006).

	Raj et al., 1996 (*) San Pablo	Galrao, 1998 (*) Cerrado	López et al., 1994 (**) Mina Gerais	Etchevers, 2006 (*) INIA, Chile
Bajo	<0,5	<1,0	<0,9	<0,5
Medio	0,6-1,2	1,1-1,6	1-1,5	0,5-1,0
Alto	>1,2	>1,6	>1,6	>1,0

Extractante: (*) DTPA, (**) Mehlich III

2. Contenido de Materia orgánica.

La materia orgánica (MO) del suelo puede proveer nutrientes a la solución por medio de la mineralización de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, como el ácido acético, cítrico o málico. El boro (B) es el microelemento donde la fracción orgánica adquiere mayor importancia, llegando a constituir hasta el 95% de su reserva en el suelo (Marschner, 1992).

En una serie de experimentos conducidos por diferentes grupos de investigación en el sur de Córdoba, centro y sur de Santa Fe, y centro, oeste y norte de Buenos Aires, se determinó una fuerte asociación entre Zn disponible y contenido de MO en suelo. Por sí sólo, el nivel de Zn demostró escasa robustez como indicador de respuesta. Sin embargo, si se seleccionan aquellos sitio con escasa capacidad de mineralización a partir de un contenido de MO menor a 2 %, la correlación entre respuesta y Zn disponible aumenta considerablemente

3. pH del suelo.

El pH modifica la disponibilidad de los microelementos en sentido diferente según características propias del nutriente i.e. el grupo químico al que pertenezca. El pH modifica las especies iónicas predominantes y su concentración, esto afecta su movilidad y solubilidad en el suelo, condicionando la absorción por parte del cultivo.

En general, los micronutrientes catiónicos como Zn, hierro (Fe), cobre (Cu) o manganeseo (Mn) aumentan su biodisponibilidad a bajos valores de pH (Malavolta et al., 1997). Las carencias de Zn y otros cationes son características en suelos con presencia de calcáreo, horizontes Thapto con presencia de carbonato de calcio, o suelos con alto contenido de arcillas expandibles con alta saturación cálcica, donde este elemento desplaza a los

microelementos catiónicos de sus sitios de intercambio (Quintero et al., 2006) (Fotografía 1). El molibdeno (Mo) y cloro (Cl) aumentan su disponibilidad en valores de pH alcalino (Figura 3). El B varía poco su disponibilidad con el pH, siendo ligeramente superior en el rango neutral de 6 a 7,5, y cayendo en valores superiores a 7,5, a causa de su adsorción aniónica.



Fotografía 1

Fotografía 1: *Clorosis férrica en soja a) sobre un suelo con alcalinidad en Rojas, Noreste de la provincia de Buenos Aires.*

4. Interacciones entre nutrientes.

La nutrición es un fenómeno muy complejo y el agregado de un elemento suele modificar la disponibilidad y eficiencia de otros, a través de procesos que pueden darse en el suelo – solubilización, adsorción, fijación, acomplejamiento en formas orgánicas- como también por efectos sobre la fisiología de las plantas (Marschner, 1998; Fancelli, 2006) (Figura 4). Desde hace tiempo se conoce que el fósforo agregado como fertilizante en forma localizada provoca la formación de bandas de alta concentración que suelen reaccionar con el Zn, formando complejos insolubles. Esta sería una de las causas de la creciente proliferación de la sintomatología de carencia de Zn en maíces de siembra temprana, especialmente cuando las primaveras son frías y los suelos de baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Fancelli, 2006). Los complejos son más estables a valores de pH elevado. El fenómeno es temporal, y suele revertirse cuando aumenta la temperatura y la exploración del suelo por parte de las raíces.

5. Factores de cultivo y ambientales:

a. Crecimiento bajo estrés moderado.

Aun cuando los efectos del ambiente son complejos y nunca actúan en una sola dirección, existe evidencia experimental en la Región Pampeana Argentina que indica que la respuesta al uso de microelementos es más probable bajo condiciones de estrés. Entre las campañas 2005/06 y 2013/14, Ferraris et al., realizaron 113 ensayos de campo, incluyendo 489 tratamientos. Los experimentos fueron conducidos en las localidades de La Trinidad (General Arenales), Pergamino (Pergamino), Rancagua (Pergamino), Sarasa (Colón), San Antonio de Areco (SA de Areco) Wheelwright (General López) y Juncal (Constitución), los cinco primeros en el Noroeste de Buenos Aires y los dos restantes en el Sur de Santa Fe. Si se compara la respuesta obtenida en los ciclos secos como

2005/06, 2010/11 y 2012/13, con precipitaciones por debajo de la media histórica y déficit de evapotranspiración en todos los casos superior a 150 mm, esta superó en frecuencia a la media, obteniéndose un 53 % de sitios con resultados positivos ($P < 0,10$ en 26 (49) ensayos) (Figura 1). En estos ensayos, la respuesta media obtenida alcanzó a 10,8 y 6,9 % para aplicaciones en el estado vegetativo y reproductivo, respectivamente. Por el contrario, en los años con balance hídrico positivo, un 25,7 % de los experimentos mostraron respuesta ($P < 0,10$ en 8(29) ensayos) (Figura 5.c).

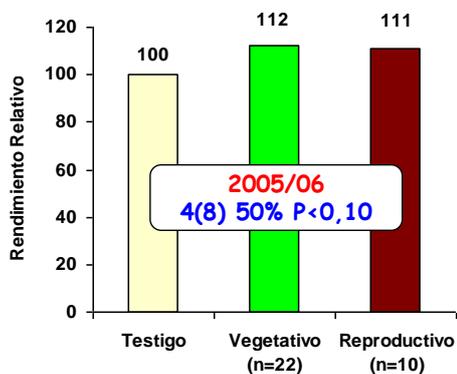


Figura 5.b

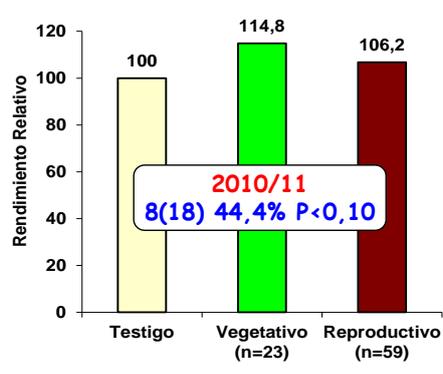


Figura 5.c

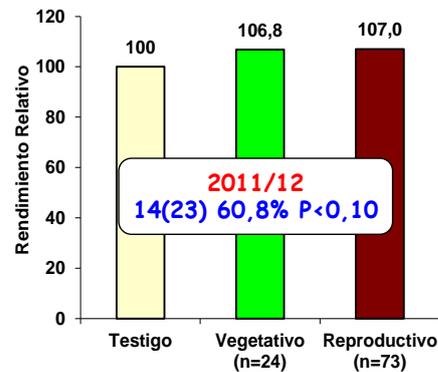


Figura 1: Rendimiento relativo al Testigo (Testigo=100) como resultado de la aplicación de fertilizantes conteniendo microelementos en soja entre las campañas en años con Fenómeno La Niña y estrés hídrico moderado o severo, en la región Centro Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe.

b. Recuperación luego de estrés severo.

Una condición puntual de estrés agudo podría favorecer la respuesta al agregado externo de microelementos, al aumentar la tasa de crecimiento durante el período en que el cultivo busca compensar la pérdida de sus órganos vegetativos o reproductivos. En un experimento conducido en La Trinidad durante la campaña 2010/11, se realizaron aplicaciones foliares de B sobre parcelas enteras y defoliadas artificialmente en un 50 % en inicios de floración (R1). Todas las parcelas enteras alcanzaron el 95% de intercepción en R5, sin embargo las parcelas defoliadas sólo alcanzaron 91 % en R5 y 95 % en R6 cuando fueron fertilizadas, siendo las coberturas inferiores en los testigos (Figura 6). Como consecuencia, la respuesta media a B fue de 275 kg ha⁻¹ en las parcelas enteras, y de 877 kg ha⁻¹ en las defoliadas (Ferraris y Couretot, 2011). Un comportamiento similar se observó comparando tratamientos con agregado de macro y microelementos en lotes afectados por granizo, en comparación con parcelas no dañadas localizadas en la misma región (Ferraris, 2014).

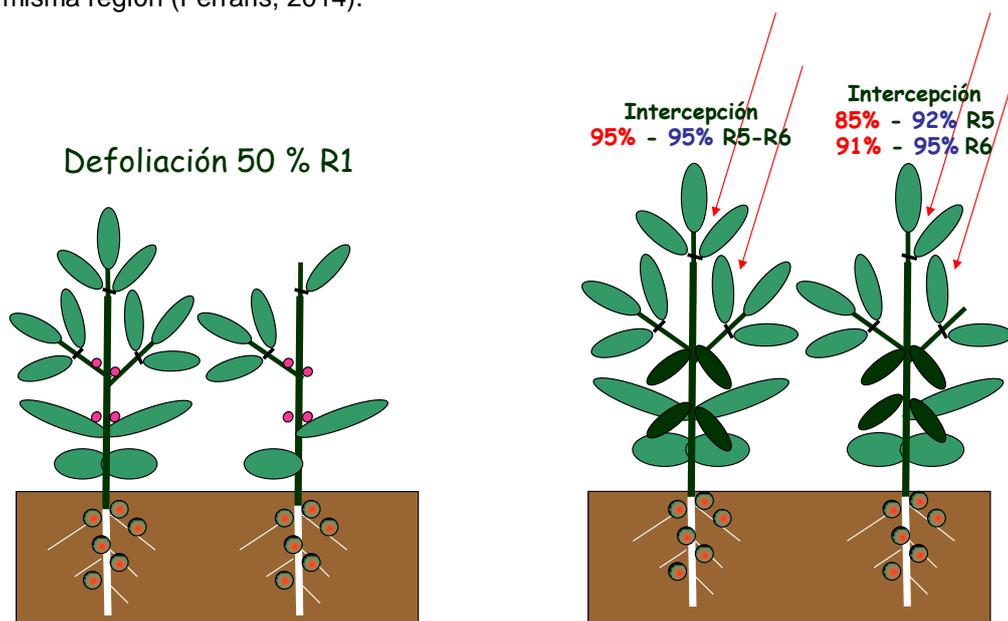


Figura 2: Esquema de tratamientos de defoliación y aplicación foliar de B, y su efecto sobre la intercepción de radiación en inicios (R5) y final (R6) de llenado de granos. La Trinidad, General Arenales. Campaña 2010/11.

6. Interacciones positivas con otras prácticas agronómicas.

En ocasiones, los tratamientos de protección pueden tener efectos antagónicos con el metabolismo nutricional. Huber et al., (2004) y Cackman (2011) mencionan efectos depresores y deficiencia inducida en cultivos transgénicos tratados con el herbicida glifosato, en comparación con sus isolíneas convencionales. En Argentina, resultados preliminares han evidenciado este comportamiento con sobredosis de herbicida (Ferraris y Couretot, 2012) (Fotografía 2)



Fotografía 2: Síntoma característico de la deficiencia de Manganeso en Soja, probablemente inducido por sobredosis de herbicida. Colón (Bs As), campaña 2011/12

TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN DE MICRONUTRENTES

Fuentes de micronutrientes.

Las fuentes utilizadas pueden ser orgánicas e inorgánicas. La concentración, forma química y solubilidad varía considerablemente entre fuentes dificultando su comparación. Por este motivo, la concentración de una fuente y su costo por unidad de nutriente no es el parámetro más importante para cotejarlas, como suele hacerse con los macronutrientes. Entre las fuentes más comunes pueden mencionarse los óxidos, sales, quelatos, complejos y polisacáridos. La prevalencia de cada una de ellas dependerá del nutriente, la dosis a aplicar, y la vía de incorporación, por lo que fuente y forma de aplicación deberían ser evaluados de manera conjunta. La solubilidad en agua es un parámetro importante, ya que guarda relación directa con la disponibilidad para el cultivo.

Para los tratamientos de semilla se suelen utilizar óxidos de alta concentración, ya que la cantidad de fertilizante aplicado por esta vía siempre es reducida. Las sales pueden tener restricciones de dosis para evitar efectos fitotóxicos i.e. sulfato de zinc. También pueden ser utilizados quelatos. En aplicaciones foliares, los quelatos (neutralizan cationes) y complejos (neutralizan aniones y cationes) inorgánicos y orgánicos, aminoácidos, óxidos micronizados y polioles suelen ser la fuente más utilizada. Tienen carga neutra, son apropiados para mezclas de tanque con otros agroquímicos, y suelen ser fácilmente absorbidos y transportados por la planta.

Formas de aplicación

Debido a las pequeñas dosis aportadas, los micronutrientes pueden aplicarse sobre semilla, por vía foliar o al suelo. Las tres vías son factibles y han mostrado resultados alentadores, ajustando fuentes, dosis, y metodologías de aplicación.

CONSIDERACIONES FINALES

La disponibilidad de micronutrientes en suelos para los cultivos extensivos ha sido históricamente considerada adecuada, y su aplicación mediante fertilizantes poco necesaria. Sin embargo, en los últimos años se han observado deficiencias en suelo y planta y creciente respuesta a su aplicación. Con ello, ha aumentado el conocimiento que permite la identificación de los síntomas, algunas características referidas a su ciclo y dinámica en los suelos, e seleccionar los fertilizantes disponibles para subsanarlos. A partir de trabajos recientes, se conocen algunas combinaciones de nutriente-cultivo como Zn en maíz y arroz; B en girasol, maíz, soja y alfalfa, Cl⁻ en cereales de invierno, Cobalto (Co) y Molibdeno (Mo) en soja, que en la Región Pampeana Argentina representan el espectro donde la respuesta ha sido más reiterada y consistente, y donde deberían profundizar los estudios a realizar en un futuro cercano. Sin embargo, las preguntas fundamentales: Cuando aplicarlos?Cuál es la forma y la fuente más efectiva? todavía no tienen una respuesta definitiva. Es de esperar que este conocimiento se genere localmente en los próximos años, lo cual permitiría incrementar la adopción de esta tecnología de manera confiable por parte de productores y asesores.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- * Aruani MC y Sanchez EE. 2002. Manzano, Distribución de Micronutrientes en el Suelo. Revista de la Facultad Ciencias Agrarias de Cuyo. 34: 25-30.
- * Balboa, G.R.; G.P. Esposito; C. Castillo y R. Balboa. 2010. Estrategias de fertilización con boro en girasol. Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (en CD). Rosario. Actas del XX Congreso de la Ciencia del Suelo (en CD). Salta

- * Black, R.E. 2008. Zinc deficiency, infectious disease and mortality in the developing world. *J Nutr* 133:1485-1489.
- * Cakman, I. 2008. Enrichment of soil grains with zinc: agronomic or genetics biofortification? *Plant and Soils*. 3002:1-17.
- * Cakman, I. 2011. Impacts of Mineral Nutrition on Growth of Crop Plants. pp 7-12. En: *Actas del Simposio Fertilidad 2011*. "La Nutrición del cultivo integrada al Sistema de Producción". IPNI Cono Sur-Fertilizar Asociación Civil. 269 pp.
- * Fancelli, AL. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. Pp 11-27. En: M Vázquez(ed). *Micronutrientes en la agricultura*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207pp.
- * Ferraris, G. 2011. Microelementos en cultivos extensivos. Necesidad actual o tecnología para el futuro? pp 121-133. En: *Actas del Simposio Fertilidad 2011*. "La Nutrición del cultivo integrada al Sistema de Producción". IPNI Cono Sur-Fertilizar Asociación Civil. 269 pp.
- * Ferraris, G. 2011 B. 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 (Versión digital). 14 al 16 de Setiembre de 2011.
- * Ferraris, G. 2012. Zinc y otros microelementos en Maíz. *Jornada de Maíz*. INTA EEA Marcos Juárez. 5 de Julio de 2012. 8pp
- * Ferraris, G. y L. Couretot. 2007. Respuesta del maíz a la fertilización complementaria por vía foliar. *Campaña 2006/07*. En: *Experiencias en Fertilización y Protección del cultivo de Maíz*. Año 2007. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, EEA Pergamino y General Villegas: 116-122.
- * Ferraris, G. y L. Couretot. 2009. a. Fertilización foliar complementaria de Soja. Un análisis de dos campañas climáticamente contrastantes. Pp143-148. *Soja. Resultados de Experiencias*. Campaña 2009. F Mousegne (ed). Proyecto Regional Agrícola. CRBAN-EEA Pergamino-Villegas.
- * Ferraris, G. y L. Couretot. 2009. b. Respuesta del Maíz a la fertilización complementaria con zinc, boro y otros nutrientes. En: *Revista Agromercado*. ISSN 1514-2213x Cuadernillo Fertilidad y Fertilizantes. Vol.28, pp 22-24.
- * Ferraris, G., y L. Couretot. 2011. Fertilización complementaria en soja: Tratamientos de fertilización foliar como herramienta para mitigar períodos de estrés simulados por defoliación. Informe técnico. UCT Agrícola – Area de Desarrollo Rural INTA Pergamino. 6p. Disponible on line www.inta.gov.ar/pergamino/informacion
- * Ferraris, G., y L. Couretot. 2012. Fertilización complementaria en soja. Informe técnico. UCT Agrícola – Area de Desarrollo Rural INTA Pergamino. 9p.
- * Ferraris, G., L. Couretot y J. Ponsa. 2005. Evaluación de la utilización de molibdeno, cobalto, boro y otros nutrientes en soja de primera. En: *Soja. Resultados de Unidades demostrativas del Proyecto Regional Agrícola*, año 2005. CERBAN. Áreas de Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino y General Villegas. pp 62-65.
- * Ferraris, G., L. Couretot y J. Urrutia. 2010. Tecnologías para la aplicación de microelementos en maíz. Dosis y sistemas de aplicación de zinc en combinación con fuentes nitrógeno-azufradas. V *Jornada de Maíz*. AIANBA-INTA EEA Pergamino. 11p.
- * Ferraris, GN, L. Couretot, L. Ventimiglia y F. Mousegne, F. 2010. Respuesta al zinc en maíz utilizando diferentes tecnologías de aplicación en la región Centro Norte de Buenos Aires. IX Congreso Nacional de Maíz. Mesa de Fertilidad y Nutrición del cultivo. AIANBA. Rosario, Noviembre de 2010.
- * Fontanetto, H.; Keller, O; Negro, C; Belotti L.; y Giailevra D. 2006. Inoculación y fertilización con Cobalto y Molibdeno sobre la nodulación y la producción de soja. INTA, E. E. A. Rafaela.
- * Galvão, E.Z. 1996. Níveis críticos de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, fase cerrado. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, Campinas, 20 283-289.
- * Graham, R.D. y R.M. Welch. 1996. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density. *Agricultural Strategies for Micronutrients*. p 1-72. Working Paper No. 3. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- * Gonzalez Montaner J, Di Napoli M. 1997. Respuesta a P, cal, S, K y Zn del cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fe. VI Congreso Nacional de maíz. Pergamino III: 249-253.
- * Huber, D.M. J.D. Leuck, W.C. Smith, E.P. Christmas. 2004. Induced manganese deficiency in GM soybeans. *Northcentral Fert. Extension Conf.*, Des Moines, IA, November 2004 (2004)
- Leiva, D. 2009. Protocolo de calibración de equipo. Pulverizador terrestre., Versión 1.0-2008. pp283-292. En: Mousegne, F. *Soja. Resultados de experiencias*. Campaña 2009. Proyecto Regional Agrícola, CRBAN, INTA.
- * Malavolta E, Vitti G, de Oliveira S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2ª. Ed. POTAFOS. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil.
- * Marschner, H.E. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press, London/San Diego/New York/Boston/Sydney/Tokyo, 889 p.
- * McGrath, S.P., Sanders, J.R., Shalaby, M.H. 1988. The effects of soil organic matter levels on soil solution concentrations and extractabilities of manganese, zinc and copper. *Geoderma* 42: 177-188
- * Pais, I, J. Benton Jones. 2000. *The handbook of trace elements*. St. Lucie Press, Boca Raton, 223 p.
- * Prochnow, L; M. F. Moraes y S. Stipp. Micronutrientes. "Simposio Fertilidad 2009." *Mejores Prácticas de Manejo para una Mayor Eficiencia en la Nutrición de Cultivos*. Disponible on-line www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf
- * Prystupa, P. M. Torres Duggan y G. Ferraris. 2012. Tecnología de aplicación de micronutrientes en la Región pampeana Argentina.
- * Quintero, C.E.; E.S. Arévalo; N.G. Boschietti y N.M. Spinelli. 2006. Clorosis en suelos con calcáreo. En: M Vázquez (Ed.) *Micronutrientes en la agricultura*. AACs, Argentina. pp 113-125.
- * Scheid López, A. 2006. Micronutrientes: La experiencia brasilera. *Filosofía de aplicación y eficiencia agronómica*. pp. 29-78. En: M Vázquez (ed). *Micronutrientes en la agricultura*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207pp.
- * Torri, S., Urricariet, S., Ferraris, G. y Lavado, R.S. 2010. Cap.5. Micronutrientes en agrosistemas pp 395-423. En: *Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes*. Rubio, G. Y R. Lavado (eds). Editorial Facultad de Agronomía, UBA.
- * Vazquez, M. 2011. Causas de la acidificación en el ámbito templado argentino, consecuencias y avances para su diagnóstico. pp 13-29. En: *Actas del Simposio Fertilidad 2011*. "La Nutrición del cultivo integrada al Sistema de Producción". IPNI Cono Sur-Fertilizar Asociación Civil. 269 pp.