

Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica

IAH 5 - Marzo 2012

CONTENIDO

Tecnología de aplicación de micronutrientes en la región pampeana argentina	2
Fertilización foliar con cobre: ¿Aumenta el contenido proteico de los granos en cebada cervecera?	9
Microorganismos promotores del crecimiento vegetal	12
Uso de líneas límite para el diagnóstico de campo y la investigación agrícola - Avances en México	17
Reporte de Investigación Reciente.....	21
Cursos y Simposios	23

Archivo Agronómico # 14

Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE



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

International Plant Nutrition Institute (IPNI)

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

<http://www.ipni.net>

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

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

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

En este número

- Micronutrientes en la región pampeana argentina
- Cobre en cebada cervecera
- Microorganismos promotores del crecimiento
- Uso de líneas límite para el diagnóstico y la investigación

Archivo Agronómico # 14

Análisis vegetal para el diagnóstico

Tecnología de aplicación de micronutrientes en la región pampeana argentina

Pablo Prystupa¹, Martín Torres Duggan² y Gustavo A. Ferraris³

Introducción

La región pampeana argentina es una de las principales áreas de producción agrícola del mundo. La fertilidad natural de sus suelos ha permitido sostener la producción agrícola y ganadera durante varias décadas con un muy bajo uso de fertilizantes. La consecuente disminución de la disponibilidad de nutrientes en los suelos, combinado con el creciente nivel productivo de los cultivos, determinaron la aparición de deficiencias nutricionales. Actualmente los nutrientes más deficientes son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S). Desde mediados de la década del 90, la intensificación de la agricultura pampeana determinó, también, la aparición de deficiencias de diversos micronutrientes (Torri et al., 2010). En los últimos años se han reportado respuestas significativas a la fertilización con boro (B) y zinc (Zn) en sistemas de alta productividad de maíz, cloro (Cl) en trigo, y B en girasol (Melgar et al., 2001; Ferraris, 2011a; Torri et al., 2010).

Bajo la denominación de micronutrientes se agrupan a un conjunto de nutrientes esenciales que poseen propiedades químicas muy diferentes y que, por lo tanto, se comportan de diversas maneras en el suelo y cumplen distintas funciones en la planta. La característica común que poseen todos ellos es la de ser requeridos en pequeñas cantidades por los cultivos: sus requerimientos están comprendidos entre unos pocos gramos hasta algunos cientos de gramos por hectárea, usualmente menos de un kg (a excepción del Cl).

La adopción de la fertilización con micronutrientes, si bien ha sido gradual, determinó una diversificación de las fuentes disponibles en el mercado y de las posibilidades para su aplicación a campo. En aplicaciones al suelo, debido a que las dosis aplicadas en términos generales son bajas (menores de 10 kg ha⁻¹), lograr una distribución uniforme con los equipos de aplicación disponibles constituyen un desafío tecnológico relevante. Así, el manejo de la tecnología de la fertilización (selección de la fuente, dosis y momento de aplicación) tiene el objetivo de generar mejoras en el rendimiento (e.g. efectividad agronómica) y simultáneamente alcanzar una elevada eficiencia agronómica (kg de grano kg de nutriente aplicado⁻¹). En esta revisión presentamos y discutimos los principales resultados de las investigaciones sobre evaluación de

fuentes y métodos de aplicación de micronutrientes en cultivos extensivos de grano de la región pampeana argentina y sus implicancias prácticas para la selección de las fuentes y métodos de aplicación.

Estrategias de aplicación de micronutrientes

Existen diferentes fuentes y métodos de aplicación que pueden ser utilizados para cubrir deficiencias de micronutrientes. La selección de la fuente adecuada y la estrategia de aplicación dependerán de distintos factores (costos, equipamiento disponible para la aplicación, preferencias logísticas del productor, calidad del fertilizante, tipo de suelo, cultivo y características agroecológicas de la zona de producción). Los microelementos pueden ser aplicados con diferentes fertilizantes: fuentes simples (e.g. boratos, sulfatos, etc.), como ingrediente de mezclas físicas (blends), fertilizantes complejos junto con macronutrientes, y fertilizantes líquidos, entre los más difundidos (Bell y Dell, 2008). En cuanto a los métodos de aplicación, los micronutrientes también pueden ser aplicados de diversos métodos. Los más utilizados en cultivos extensivos de secano son la aplicación al suelo, vía foliar y en semillas. En la **Tabla 1** se presentan las principales ventajas y desventajas de las fuentes alternativas utilizadas para aplicar micronutrientes en cultivos extensivos, y en la **Tabla 2** las ventajas y desventajas de los principales métodos de aplicación más utilizados.

Resultados experimentales recientes en cultivos de grano

Cloro

Las deficiencias de Cl pueden constituir un factor limitante de la producción en cereales de invierno (Fixen et al., 1986). En la región pampeana se han detectado deficiencias de este nutriente en trigo (Díaz Zorita et al., 2004; García, 2008). La fertilización no se encuentra muy difundida debido a las respuestas relativamente pequeñas (5-10% según región, sanidad del cultivar, presencia de fuentes alternativas de aporte) y al costo de los fertilizantes potásicos.

Las fuentes disponibles de cloruros en nuestro país son el cloruro de potasio (46.5% de Cl, 50% de K), cloruro de amonio (66% de Cl, 26% de N) y cloruro de calcio (64% de Cl, 36% de Ca). En diversos experimentos se compararon

¹ Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: prystupa@agro.uba.ar

² Tecnoagro S.R.L., Buenos Aires, Argentina.

³ EEA INTA Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de fuentes alternativas de micronutrientes. Adaptado y ampliado de Bell y Dell (2008).

Tipo de fuente	Ventajas	Desventajas
Fertilizantes simples	<ul style="list-style-type: none"> ■ Amplia disponibilidad en el mercado. ■ Menor costo por unidad de nutriente. ■ Aptos para aplicación foliar. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Problemas de uniformidad en aplicación al suelo.
Mezclas físicas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aplicación con otros nutrientes (macro y mesonutrientes). ■ Menor costo comparado con fuentes complejas de similar grado. ■ Amplia disponibilidad en el mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Segregación de partículas. ■ Baja uniformidad de aplicación. ■ Baja eficiencia de aprovechamiento (pocos gránulos/unidad de superficie). ■ Necesidad de analizar la compatibilidad física (e.g. diferencias en SGN¹ entre materias primas utilizadas).
Mezclas químicas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aplicación conjunta con macro y mesonutrientes. ■ Uniformidad de aplicación (todos los gránulos contienen similar grado). ■ Nuevos desarrollos y mayor disponibilidad de productos. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mayor costo por unidad de nutriente comparado con mezclas físicas o fuentes simples de microelementos.
Fertilizantes de aplicación foliar	<ul style="list-style-type: none"> ■ Flexibilidad en momentos de aplicación. ■ Mayor uniformidad de aplicación. ■ Aplicación conjunta con plaguicidas o herbicidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Necesidad de utilizar fuentes solubles de micronutrientes en las formulaciones. ■ Interacciones con fuentes de macro o mesonutrientes. ■ Disponibilidad de equipamiento y logística de aplicación en zona de producción.
Quelatos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Disponibilidad de productos interesantes para aplicación en suelos alcalinos o pH elevado. ■ Disponibilidad de productos interesantes para aplicación foliar. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mayor costo por unidad de elementos comparado con fuentes convencionales.

¹ SGN = Size Guide Number ó Número de Tamaño Guía.

los efectos del cloruro de amonio y del cloruro de potasio (al cual se le adicionaba fertilizante nitrogenado compensando el aporte de N del cloruro de amonio) (Díaz Zorita et al., 2004; Ventimiglia et al., 2003). Considerando siete experimentos en que se observó respuesta al Cl, sólo en un caso el cloruro de potasio rindió más que el cloruro de amonio. En una revisión más amplia, donde se incluyeron datos provenientes de ensayos no publicados se observaron resultados similares (García, 2008). En conclusión, salvo excepciones, el uso de las distintas fuentes que aportan cloruros presentan eficiencias de uso similares y la elección entre ellas debería basarse en consideraciones económicas (e.g. precio por unidad de nutriente, disponibilidad en la zona de producción), como así también el valor de los otros nutrientes que aportan las diferentes fuentes de cloruros.

La forma habitual de aplicar los fertilizantes clorados es al voleo, en la siembra. La experiencia en Estados Unidos indica que la ubicación del fertilizante no resulta muy relevante debido a la movilidad de los cloruros en el suelo, ya que las fertilizaciones desde la siembra

hasta fin de macollaje tienen efectos similares (Fixen et al., 1986). No se dispone de información generada en nuestro país sobre estos aspectos.

Zinc

La deficiencia de Zn se ha observado frecuentemente en el cultivo de maíz (**Foto 1**). Las fuentes de Zn más utilizadas son los sulfatos, quelatos y oxisulfatos (Melgar, 2006). Los sulfatos y quelatos son fertilizantes solubles, aptos para el fertirriego y la fertilización foliar. Los sulfatos son los fertilizantes solubles más difundidos. Los quelatos son complejos orgánicos de Zn. Usualmente son más caros, tienen menor grado y se les atribuye mayor eficiencia (Bell y Dell, 2008). En los oxisulfatos parte del Zn es muy soluble y parte es poco soluble. Esto determina una disolución gradual del nutriente (Melgar, 2006). En otras regiones agrícolas del mundo, es frecuente el empleo de fuentes poco solubles como los óxidos y silicatos de Zn (Prochnow et al., 2009). Los fertilizantes con Zn pueden ser aplicados al suelo, a la semilla, o al follaje.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los principales métodos de aplicación de micronutrientes.

Método de aplicación	Ventajas	Desventajas
Al suelo	<ul style="list-style-type: none"> ■ Adecuada para aplicar dosis medias o altas. ■ Posibilidad de generar residualidad. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Baja eficiencia (particularmente en suelos calcáreos o con pH elevado).
Foliar	<ul style="list-style-type: none"> ■ Adecuado para corregir deficiencias en cultivos en desarrollo. ■ Amplía el espectro de herramientas de diagnóstico (análisis visual, de tejidos) ■ Uniformidad de aplicación. ■ Mejoras en la calidad de producto cosechado (“biofortificación” de granos). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Influencia de factores ambientales (e.g. viento, temperaturas elevadas, baja humedad relativa del ambiente, etc.), que requieren del uso de adyuvantes (e.g. surfactantes, aceite, etc.). ■ Cubren las deficiencias del follaje impactado, pero no las del nuevo material vegetativo o reproductivo, que pudiera crecer luego de la aplicación, a excepción del B en algunas especies (la mayoría de frutales como el manzano y el durazno) donde se comporta como móvil en las plantas.
En semilla	<ul style="list-style-type: none"> ■ Interesante para aportar micronutrientes con influencia en la FBN¹ (e.g. Co, Mo). ■ Disponibilidad de semillas “pelleteadas”, curas y con micronutrientes incorporados. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Adecuada para aplicación de dosis bajas. ■ No se utiliza en B, que es tóxico en contacto con las semillas. ■ En el caso de no contar con semillas tratadas, se requiere impregnar las semillas, donde es necesario realizar una adecuada cobertura de las semillas.

¹ FBN = Fijación Biológica de Nitrógeno.

Aplicación al suelo: Considerando que las dosis aplicadas son pequeñas (e.g. 0.5-3 kg Zn ha⁻¹), lograr una adecuada distribución del fertilizante en el suelo es muy complicado. Una forma de conseguir una aplicación uniforme es utilizar como fuente mezclas químicas (Melgar, 2006), o mezclas físicas utilizando fertilizantes líquidos (Ferraris, 2011a). Estos fertilizantes contienen la misma concentración de nutrientes.

También es posible aplicar micronutrientes a través de las mezclas físicas de fuentes granuladas de micronutrientes con fuentes granuladas de macronutrientes, aunque la uniformidad de la distribución no está asegurada. Esto se debe a que la distancia entre gránulos de micronutrientes va a ser grande (baja cantidad de partículas o gránulos por unidad de superficie) y porque existen posibilidades de segregación de las fuentes durante el manipuleo de la mezcla (Scheid Lopes, 2006).

La peor alternativa en términos de uniformidad de distribución de los micronutrientes en el suelo es su incorporación como ingrediente de mezclas físicas utilizando fuentes de micronutrientes en polvo (e.g. granulometría ≤0.8-1.0 mm), que tienden a generar segregación de partículas durante el transporte, manipuleo y aplicación. Para evitar ello, debe ser analizada la compatibilidad física de las fuentes de macro y micronutrientes utilizadas en la formulación de la mezcla física (e.g. diferencia en SGN -Size Guide Number- de ingredientes o materias primas inferior al 10%).

Existen en el mercado argentino fertilizantes complejos en los cuales cada gránulo contiene macro y micronutrientes: en algunos casos son gránulos de macronutrientes que reciben una cobertura superficial de micronutrientes y, en otros casos, los micronutrientes están en la matriz del gránulo (Melgar, 2006; Scheid Lopes, 2006). En las aplicaciones de fertilizantes sólidos al suelo lo más común es emplear oxisulfatos, aunque se pueden emplear cualquiera de las otras fuentes descritas. En la región pampeana se ha informado respuesta al Zn aplicado con este método en los cultivos de maíz y trigo (Ferraris, 2011a y 2011b; Melgar et al., 2001; Sainz Rozas et al., 2003).

También puede aplicarse el Zn mezclado con fertilizantes líquidos aplicados al suelo (e.g. aplicación “chorreada”). En este caso se deben aplicar fuentes solubles en agua y tener en cuenta la compatibilidad de las fuentes de macro y micronutrientes empleadas en la formulación. Se ha reportado respuesta al Zn aplicado conjuntamente con tiosulfato de amonio en maíz (Ferraris, 2011).

La fertilización al suelo con Zn puede presentar efectos residuales (Brown et al., 1963). Aprovechando esta característica, en Brasil es habitual realizar una aplicación de fertilizante con Zn cada cuatro años (Prochnow et al., 2009). En la Argentina es muy limitada la información referida a este tópico.

Aplicaciones foliares: Las fertilizaciones foliares con Zn, o con cualquier otro nutriente, deben realizarse siguiendo una serie de pautas: las soluciones no deben ser muy concentradas y deben evitarse las elevadas temperaturas o baja humedad relativa del ambiente para no dañar el follaje. Asimismo, el pH de las soluciones aplicadas deben estar entre 6 y 7, y no deben mezclarse productos incompatibles (Prochnow et al., 2009). La fuente empleada debe ser totalmente soluble en agua, como los sulfatos o los quelatos de Zn. La fertilización foliar es una práctica muy utilizada en el mundo para cubrir deficiencias de micronutrientes. Una ventaja interesante de esta técnica es la posibilidad de aportar los nutrientes en forma más uniforme, directamente sobre el canopeo, evitando las interacciones de los micronutrientes con el suelo, que pueden reducir su biodisponibilidad (e.g. pH elevados, escasa humedad, compactación, etc.).

A diferencia de lo mencionado para la fertilización al suelo, la fertilización foliar no presenta efectos residuales. El Zn es un nutriente poco móvil en la planta, la fertilización foliar sólo cubrirá los requerimientos de los órganos sobre los cuales se impacta con la aplicación. Es por ello que puede ser necesario realizar sucesivas aplicaciones. Desde el punto de vista económico es conveniente combinar la fertilización foliar con la aplicación de plaguicidas. En el norte de la región pampeana ha sido demostrada la eficacia de esta práctica en trigo y maíz (Ferraris, 2011; Fontanetto et al., 2006b).

Aplicaciones a la semilla: Es posible aplicar una dosis pequeña de Zn sobre las semillas asegurando una excelente distribución del fertilizante. Para maximizar la dosis a aplicar sobre las semillas se emplea óxido de Zn que posee una alta concentración del elemento (Melgar, 2006). En nuestro país se ha probado la eficacia de esta técnica en maíz y arroz (Ferraris, 2011a; Fontanetto y Keller, 2006; Quintero et al., 2006) y es una práctica habitual en los sistemas de producción de

arroz en Entre Ríos (Melgar, 2006).

La información experimental local sobre comparación de formas de aplicación de Zn en la región pampeana es muy limitada. En un ensayo realizado sobre trigo en el área central de Santa Fe, la fertilización foliar con Zn incrementó el rendimiento mientras la aplicación en la semilla no lo afectó (Fontanetto et al., 2006b). Por el contrario, en tres ensayos realizados en la misma zona en maíz se observaron mayores efectos cuando la fertilización se realizó sobre la semilla (Fontanetto y Keller, 2006).

Entre los años 2004 y 2010, Ferraris et al. (2010) realizaron 32 experimentos en la Pampa Ondulada evaluando la aplicación de Zn a la semilla (12 experimentos.), foliar (16 experimentos) y al suelo (4 experimentos) (**Figura 1**). Se observaron respuestas con los tres métodos de aplicación: en promedio el tratamiento a la semilla incrementó el rendimiento en un 4.7%, la aplicación foliar un 5.7% y al suelo un 7.2%. Las respuestas no son del todo comparables porque no se realizaron los mismos tratamientos en todos los ensayos. Las dosis aplicadas fueron distintas en cada ensayo, pero en general fueron inferiores cuando se aplicaron a la semilla, intermedias cuando se aplicaron al follaje y superiores cuando se aplicaron al suelo. Por lo tanto, evaluado en términos de eficiencia agronómica (kg de respuesta kg de Zn aplicado⁻¹), el método más eficiente fue la aplicación a la semilla. Sin embargo, la fertilización foliar o al suelo permite aplicar mayores dosis, lo que podría ser una ventaja en términos económicos en los casos en donde se esperen mayores respuestas en el sitio de producción.

Boro

La deficiencia de B se ha observado en cultivos de girasol (**Foto 2**). Las principales fuentes de B empleadas en la Argentina son el ácido bórico y los boratos de sodio (Melgar, 2006). El ácido bórico y algunas formas

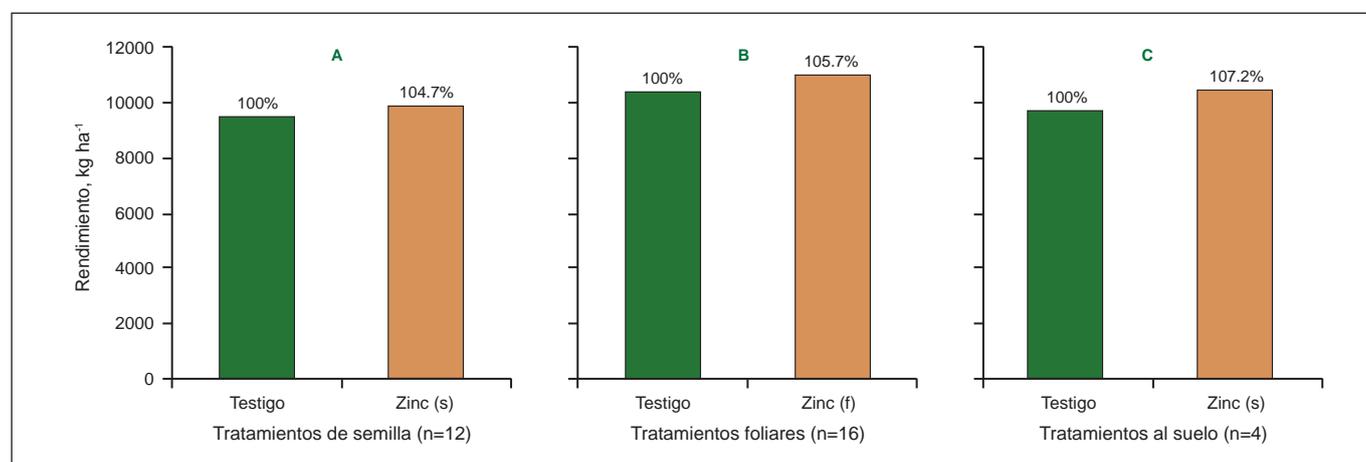


Figura 1. Rendimiento base y con aplicación de Zn en maíz por medio de: A) tratamientos de semilla (0.1-0.2 kg Zn ha⁻¹); B) aplicaciones foliares entre V5-V7, (0.3-0.5 kg Zn ha⁻¹) y C) aplicaciones al suelo entre V0-V6 (0.4-3.5 kg Zn ha⁻¹) (Ferraris et al., 2010).



Foto 1. Sintomatología de deficiencia en Zn en: a) Izquierda: Centro-oeste de Buenos Aires (Vedia), y b) Derecha: Norte de Buenos Aires (Pergamino).

de borato de sodio (e.g. $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) son solubles en agua y aptas para la aplicación foliar. Sin embargo, algunos boratos de sodio son menos solubles y no son aptos para la aplicación foliar. Existen distintos minerales con B que pueden ser aplicados como fertilizantes. El más difundido es la colemanita ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) que, si bien es soluble en agua, presenta una menor solubilidad que los boratos de sodio hidratados y por ello se los aplica a suelo (Bell y Dell, 2008).

En la región pampeana se han reportado respuestas a la fertilización con B en cultivos de girasol y maíz (Balboa et al., 2010; Melgar et al., 2001). La aplicación de B puede realizarse al suelo o vía foliar (Scheid Lopes, 2006). La fertilización foliar es la forma más habitual en la que se aplica el B en la región pampeana y la que ha sido empleada en, prácticamente, todas las investigaciones publicadas. Por el contrario, la aplicación al suelo en bandas con alta concentración de B puede provocar fuertes efectos fitotóxicos, aunque se coloque separado de las semillas en germinación.

Las aplicaciones foliares pueden realizarse en diversos momentos. Así, en girasol se aplica desde V2 hasta V12 (Balboa et al., 2010; Díaz Zorita y Duarte, 1998). En dos experimentos realizados en girasol en el sudeste de Córdoba, Balboa et al. (2010) detectaron efectos significativos de la fertilización foliar con 750 g B ha^{-1} en etapas tempranas (2-3 pares de hojas) mientras que la aplicación de 150 g B ha^{-1} en aplicaciones más tardías (10-12 pares de hojas) sólo tendió a incrementar los rendimientos de manera no significativa (Figura 2).

Entre las campañas 2005/06 y 2009/10, Ferraris (2011b) realizó 19 ensayos en soja aplicando una dosis al menos de 50 g B ha^{-1} . El 52% de los experimentos mostraron diferencias significativas en favor de los tratamientos aplicados ($p < 0.10$ en 10 de 19 ensayos).

La respuesta media al B alcanzó al 8.0% en años con precipitaciones inferiores a la media regional (Figura 3a) y un 5.8% en los años sin déficit hídrico durante todo el ciclo (Figura 3b). La frecuencia y magnitud de la respuesta al B superó a la obtenida con otros micronutrientes. Estos resultados señalarían al B como el micronutriente que con mayor probabilidad limitaría los rendimientos de soja en la Región Centro Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe.

Cobalto y molibdeno

El cobalto (Co) y el molibdeno (Mo) son dos nutrientes esenciales que participan en la fijación biológica del N. Son requeridos en cantidades muy bajas, por lo cual la manera más práctica de aplicarlos es juntamente con las semillas. En la región pampeana se han reportado respuestas a estos nutrientes aplicados a través de este método en el cultivo de soja (Fontanetto et al., 2006a) (Figura 4).

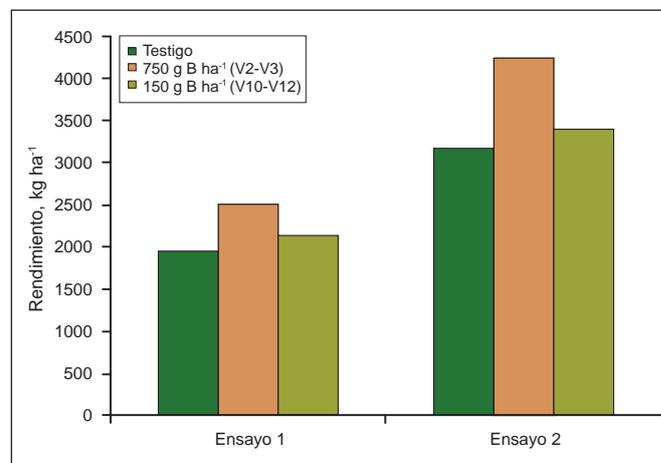


Figura 2. Respuesta a la fertilización foliar con $750 \text{ g de B ha}^{-1}$ aplicados en 2-3 hojas y con $150 \text{ g de B ha}^{-1}$ aplicados en 10-12 hojas en cultivos de girasol en el sur de la Provincia de Córdoba, Argentina (Balboa et al., 2010).

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a la información experimental disponible en la región pampeana argentina, el Cl, el Zn y el B son los micronutrientes que en mayor medida pueden limitar el rendimiento de los cultivos en algunas situaciones. Se han probado exitosamente diferentes fuentes, formas y momentos de aplicación. No obstante a ello, la fertilización de cultivos de granos con micronutrientes es aún una tecnología que ha sido adoptada moderadamente en la región pampeana. Asimismo, aún es limitada la información experimental local disponible en tópicos vinculados con fuentes y métodos de aplicación de micronutrientes.



Foto 2. Retorcimiento de hojas terminales y desprendimiento de capítulo de girasol como consecuencia de una deficiencia de B en la región pampeana arenosa. Huinca Renancó, Córdoba (izquierda); y Buena Esperanza, San Luis (derecha).

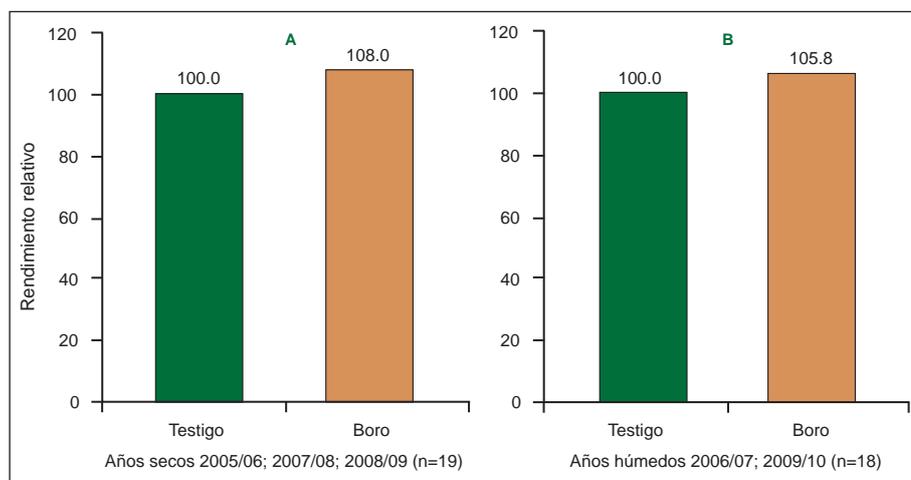


Figura 3. Rendimiento relativo al Testigo (Testigo = 100) como resultado de la aplicación de fertilizantes foliares aportando al menos 50 g B ha⁻¹ en soja entre las campañas 2005/06 y 2009/10, en la región Centro Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe, Argentina: A) años 2005/06, 2007/08 y 2008/09, con al menos 150 mm de déficit y B) años 2006/07 y 2009/10, sin déficit hídrico. (n) representa el número de casos considerado para cada estadio.

La selección de la fuente y el método de aplicación dependerá de diferentes factores:

- Tipo de micronutriente (e.g. movilidad en suelo y planta).
- Tipo de suelo (e.g. textura, pH, etc.).
- Cultivo (e.g. sensibilidad específica del genotipo utilizado).
- Manejo (e.g. sistema de labranza, rotaciones, etc.).
- Características agro-ecológicas de la zona de producción (e.g. distribución de lluvias).

En base a la información generada en la región pampeana sobre tecnología de la fertilización con micronutrientes, es posible definir los siguientes lineamientos para el manejo de las fuentes y métodos de aplicación:

■ **Cl en cultivos de invierno:** Seleccionar la fuente en base a factores económicos ya que se no se han observado diferencias importantes en efectividad de fuentes. El método frecuente de aplicación del Cl es al suelo, debido a que las dosis son relativamente altas dentro de las utilizadas con micronutrientes. Se puede aplicar desde siembra a fin de macollaje sin esperar diferencias relevantes en respuesta o eficiencia de uso.

■ **B en girasol:** Utilizar fuentes solubles en agua para aplicación foliar en estadios vegetativos (e.g. V2-12). La aplicación a suelo es viable, pero se debe analizar la eficiencia de la práctica, considerando que el B es móvil en el suelo. Una importante zona de producción del girasol (Oeste de la región pampeana) se realiza sobre suelos con texturas arenosas (e.g. Hapludoles y Haplustoles), donde pueden ocurrir pérdidas por lavado. Asimismo, por las bajas dosis utilizadas, no es sencillo lograr una aplicación uniforme en aplicaciones al suelo.

■ **Zn en maíz:** Se disponen de diferentes alternativas de fuentes y métodos de aplicación viables agronómicamente. Las dosis más

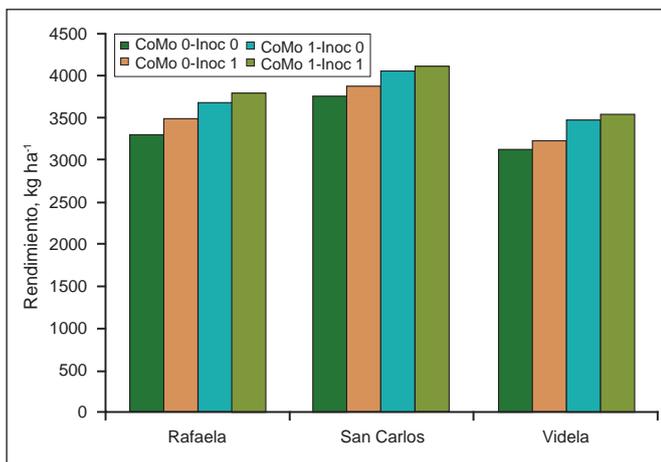


Figura 4. Respuesta a la combinación de inoculación y de agregado de cobalto (Co) y molibdeno (Mo) aplicado a la semilla en cultivos de soja en tres localidades de la Provincia de Santa Fe, Argentina (Fontanetto et al., 2006a).

elevadas se pueden aplicar vía foliar o al suelo, mientras que los tratamientos de semillas limitan las dosis utilizadas. También es posible utilizar combinaciones de métodos.

Bibliografía

Balboa, G.R., G.P. Espósito, C. Castillo, y R. Balboa. 2010. Estrategias de fertilización con boro en girasol. Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Actas del XX Congreso de la Ciencia del Suelo (en CD).

Bell, R.W., y B. Dell. 2008. Types of micronutrient fertilizer products: advantages and disadvantages of the different types. In: *Micronutrients for sustainable food, feed, fiber and bioenergy production*. IFA (International Fertilizer Industry Association): 53-66.

Díaz Zorita, M., y G.A. Duarte. 1998. Aplicaciones foliares de boro en girasol en el noroeste bonaerense. Actas de la III Reunión Nacional de Oleaginosas. Bahía Blanca: 123-124.

Díaz Zorita, M., G.A. Duarte, y M. Barraco. 2004. Effects of chloride fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity in the sandy Pampas region, Argentina. *Agron. J.* 96:839-844.

Ferraris, G.N. 2011a. Micronutrientes en cultivos extensivos. ¿Necesidad actual o tecnología para el futuro? En: *Simposio Fertilidad 2011*: García, F.O., y A.A. Correndo (Eds.). La nutrición de cultivos integrada al sistema de producción. Actas Simposio Fertilidad 2011. 18 y 19 de Mayo del 2011. Rosario, Santa Fe, Argentina, IPNI Cono Sur - Fertilizar AC: 121-133.

Ferraris, G.N. 2011b. Fertilización con micronutrientes en soja. Experiencias en la región Centro - Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe. En: *Actas Mercosojá 2011. Un grano. Un universo (Versión digital)*. 14 al 16 de Septiembre de 2011.

Ferraris, G.N., L.A. Couretot, L.A. Ventimiglia, y F. Mousegne. 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.

Fixen, P., R. Gelderman, J. Gerwing, y F. Cholik. 1986. Response of spring wheat, barley, and oats to chloride in potassium fertilizers. *Agron. J.* 78:664-668.

Fontanetto, H., y O. Keller. 2006. Manejo de la fertilización de maíz en experiencias en la región pampeana Argentina. INTA. EEA Rafaela. Información técnica cultivos de verano. Publicación miscelánea 106.

Fontanetto, H., O. Keller, C. Negro, L. Belotti, y D. Giailevra. 2006a. 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.

Fontanetto, H., O. Quaino, O. Keller, L. Belotti, C. Negro, y D. Giailevra. 2006b. Efecto del zinc en trigo en el área central de Santa Fe. Campaña 2005/06. INTA. EEA Rafaela. Información técnica de trigo. Campaña 2006:57-62.

García, F.O. 2008. Cloro en trigo: Resultados de las experiencias en la región pampeana argentina. Años 2001 a 2006. *Informaciones Agronómicas* 38:17-21. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Melgar, R. 2006. Fertilizantes con micronutrientes en el mercado argentino. En: Vazquez, M. (Ed.). *Micronutrientes en la agricultura. Diagnóstico y fertilización en Argentina. La experiencia brasilera*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires: 167-175.

Melgar, R., J. Lavandera, M. Torres Duggan, y L. Ventimiglia. 2001. Respuesta de la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Ciencia del Suelo* 19:109-114.

Prochnow, L.I., M. Ferreira de Moraes, y S.R. Stipp. 2009. Micronutrientes. En: García, F.O., e I. Ciampitti (Eds.). *Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos*. Actas Simposio Fertilidad 2009. 12 y 13 de Mayo del 2009. Rosario, Santa Fe, Argentina. IPNI Cono Sur - Fertilizar AC: 60-77.

Quintero, C.E., E.S. Arévalo, N.G. Boschetti, y N.M. Spinelli. 2006. Clorosis en suelos con calcáreo. Experiencias en el cultivo de arroz en Entre Ríos. En: Vazquez, M. (Ed.). *Micronutrientes en la agricultura. Diagnóstico y fertilización en Argentina. La experiencia brasilera*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires: 113-125.

Sainz Rozas, H., H.E. Echeverría, P.A. Calviño, P.A. Barbieri, y M. Redolatti. 2003. Respuesta del trigo al agregado de zinc y cobre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 21: 51-58.

Scheid, Lopes. A. 2006. Micronutrientes. La experiencia brasilera. Filosofía de aplicación y eficiencia agronómica. En: Vazquez, M. (Ed.). *Micronutrientes en la agricultura. Diagnóstico y fertilización en Argentina. La experiencia brasilera*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires: 29-78.

Torri, S., S. Urricarriet, G.N. Ferraris, y R.S. Lavado. 2010. Micronutrientes en agrosistemas. En: Alvarez, R., G. Rubio, C.R. Alvarez, y R.S. Lavado (Eds.). *Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana*. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires: 395-423.

Ventimiglia, L.S., S.N. Rillo, H.G. Carta, y P.E. Richmond. 2003. Efectos de la fertilización con potasio y cloro sobre el rendimiento de trigo en 9 de Julio. En: Ventimiglia, L.S., H.G. Carta, S.N. Rillo, P.E. Richmond, y L. Lull de Elizade (Eds.). *Experimentación en campo de productores*. Campaña 2002/2003. INTA. EEA Pergamino. U.E.E.A. 9 de Julio: 53-58. □

Fertilización foliar con cobre: ¿aumenta el contenido proteico de los granos en cebada cervecera?

Eduardo A. Lemos¹, María Guadalupe Tellería¹, Miguel A. Vergara^{1,2} y Pablo Prystupa²

Introducción

La fertilidad natural de los suelos de la región pampeana ha permitido sostener la producción agrícola y ganadera durante varias décadas con un muy bajo uso de fertilizantes. La continua exportación de nutrientes por los cultivos, la disminución de la concentración de la materia orgánica, y la erosión combinada con el aumento de los rendimientos, determinaron la aparición de deficiencias de diversos nutrientes, especialmente de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S). Desde mediados de la década del 90, se comenzaron a expresar, también, deficiencias de micronutrientes, particularmente de boro (B) y zinc (Zn) (Melgar et al., 2001; Ferraris, 2011; Sainz Rozas et al., 2003).

En cultivos de trigo y cebada ubicados en las cercanías de la ciudad de Junín (Buenos Aires), se han observado síntomas compatibles con deficiencias de cobre (Cu). Sin embargo, no existen antecedentes de deficiencias de este nutriente en cultivos extensivos de la región pampeana. Sainz Rozas et al. (2003) observaron respuestas a la aplicación conjunta de Zn y Cu en cultivos de trigo del sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Sin embargo, experiencias posteriores donde se aplicaron estos nutrientes en forma separada indicaron que las respuestas se debían a las deficiencias de Zn y no de Cu. En otras regiones del mundo, como Canadá, se han observado respuestas a la fertilización con Cu en cereales de invierno (Malhi y Karamanos, 2006). Tanto las aplicaciones al suelo como las foliares producen incrementos en el rendimiento pero no se reportan cambios en el contenido proteico de los granos.

En la última década, la cebada cervecera ha tomado una importancia creciente en las rotaciones agrícolas del norte de la Provincia de Buenos Aires. Para ser utilizada por las malterías, la cebada debe tener un contenido proteico intermedio, ni excesivamente alto ni muy bajo (Savín y Aguinaga, 2011). De acuerdo a las condiciones de comercialización vigentes en nuestro país, el precio de este cereal alcanza su máximo valor cuando el contenido proteico se encuentra entre el 10 y el 12%.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de las fertilizaciones foliares con Cu durante floración o principios de llenado sobre el rendimiento y el contenido proteico en cultivos de cebada cervecera en el Partido de Junín.

Materiales y métodos

A modo exploratorio, en los años 2007 y 2008 se condujeron dos ensayos en franjas apareadas sin repeticiones donde sólo se evaluó el contenido proteico de los granos. Posteriormente (años 2009 y 2010), se realizaron dos ensayos (con un diseño en bloques completos aleatorizados) donde se evaluaron el rendimiento y el contenido proteico de los granos.

Todos los experimentos se realizaron en el Partido de Junín, norte de la Provincia de Buenos Aires, se empleó la variedad Scarlett y recibieron una fertilización de base de manera que otros nutrientes no limitasen el rendimiento.

Años 2007 y 2008 (franjas apareadas)

En 2007 el ensayo se realizó sobre un suelo Hapludol típico, y en 2008 se realizó en un Hapludol éntico. Los tratamientos consistieron en a) testigo, y b) fertilizado con sulfato de Cu en una dosis de 500 g ha⁻¹ pulverizado con 100 l de agua al momento fenológico de cuarto de grano en 2007, y a mediados de llenado en 2008.

Los ensayos se condujeron en franjas apareadas, realizando tres mediciones del contenido proteico de los granos en cada franja (pseudo réplicas) en el año 2007, y cinco mediciones el año 2008. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza considerando que cada par de observaciones correspondieron a un bloque.

Año 2009

El ensayo se realizó sobre un suelo Natracualf. El horizonte superficial (0 a 20 cm) era alcalino (pH = 8.5) pero no sódico (PSI = 4) con 2.3% de materia orgánica (MO). A partir de los 20 cm de profundidad, se observó un B2t alcalino (pH = 8.9) y sódico (PSI = 28).

Los tratamientos resultaron de la aplicación de dos dosis de Cu empleando como fuente quelatos de Cu, aplicados en forma foliar en dos momentos del llenado de granos (**Tabla 1**). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados (DBCA) con tres repeticiones. Se determinó el rendimiento y el contenido proteico de los granos.

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza (ANVA). Cuando el efecto de los tratamientos fue significativo, las medias se compararon mediante contrastes previamente planeados.

¹ A.E.R. INTA Junín.

² Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Correo electrónico: gtelleria@pergamino.inta.gov.ar

Tabla 1. Tratamientos empleados en el ensayo del año 2009.

Tratamiento	1	2	3	4	5
Estadio de aplicación	-	Inicio de llenado	Inicio de llenado	Medio grano	Medio grano
Dosis, g Cu ha ⁻¹	0	62	125	62	125

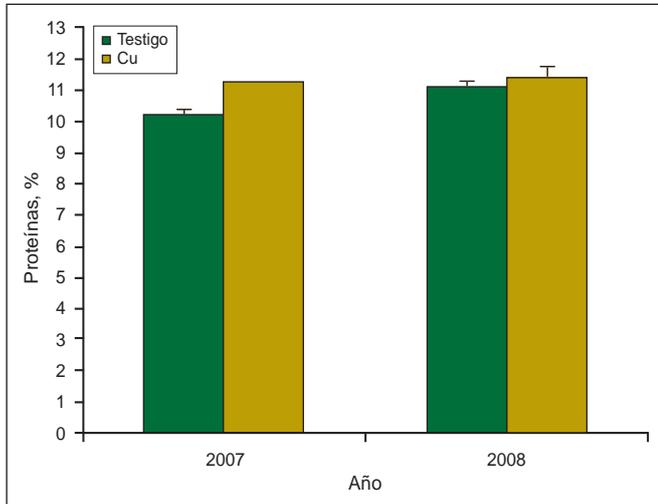


Figura 1. Contenido proteico de los granos en cultivos de cebada con y sin aplicación de cobre (Cu) como sulfato de Cu, durante el llenado en los ensayos de 2007 y 2008. Cada barra es la media de tres observaciones en 2007 y cinco observaciones en 2008, realizadas en una misma franja.

Año 2010

El ensayo se realizó sobre un suelo Hapludol éntico con signos de degradación. El horizonte superficial (0 a 20 cm) era ligeramente ácido (pH = 5.9) con 2.9% de MO. De 0 a 40 cm de profundidad se registraron 38.4 kg de N-NO₃ ha⁻¹.

Los tratamientos resultaron de la combinación factorial de tres niveles de fertilización nitrogenada aplicada como urea (37, 60 y 79 kg N ha⁻¹) y tres tratamientos de fertilización con Cu: i) sin fertilización con Cu; ii) fertilización foliar con 125 g Cu ha⁻¹ como quelatos, aplicado en hoja bandera, y iii) fertilización foliar con 125 g Cu ha⁻¹ como quelatos, aplicado en un cuarto de llenado de granos.

El diseño experimental fue un DBCA con tres repeticiones. Se determinó el rendimiento y el contenido proteico de los granos. Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza factorial.

Resultados

Experimentos 2007 y 2008

En el experimento del año 2007, el rendimiento promedio del lote fue de 4200 kg ha⁻¹. La fertilización con Cu incrementó significativamente el contenido proteico de los granos en casi 1%. El rendimiento

promedio del año 2008 fue inferior, con una media de 2300 kg ha⁻¹. No se observaron efectos significativos de la fertilización con Cu sobre el contenido proteico de los granos (**Figura 1**).

Experimento 2009

Los tratamientos no afectaron significativamente el rendimiento de los cultivos (**Figura 2**). El rendimiento promedio del ensayo fue de 3780 kg ha⁻¹. La fertilización con Cu aumentó el contenido proteico de los granos, en promedio, 0.9% (ANVA p = 0.012; contraste tratamiento 1 vs 2, 3, 4 y 5; p = 0.014) (**Figura 2**). La dosis de 125 g Cu ha⁻¹ determinó un contenido proteico de 1% mayor que la dosis de 62 g Cu ha⁻¹ (contraste tratamiento 2 y 4 vs 3 y 5; p = 0.004). No se detectaron efectos significativos del momento de aplicación, ni de la interacción entre momento y dosis (contraste 2 y 3 vs 4 y 5; y contraste 2 y 5 vs 3 y 4, no significativos).

Experimento 2010

El rendimiento promedio del ensayo fue de 2870 kg ha⁻¹. Ni la fertilización nitrogenada ni la fertilización con Cu afectaron significativamente los rendimientos (**Figura 3**). La fertilización con Cu tampoco afectó el contenido proteico de los granos. En cambio, la fertilización nitrogenada produjo un incremento significativo de 2.2% (p < 0.1).

Discusión

El presente trabajo constituye una primera confirmación de deficiencias de Cu en cultivos extensivos de la región pampeana. En la mitad de las experiencias presentadas, se observó respuesta a la fertilización con Cu sobre el contenido proteico de los granos. Sin embargo, esta información debe ser tomada en forma provisoria: las evaluaciones pruebas en 2007 y 2008 no tuvieron un diseño experimental válido.

El ensayo de 2009 fue realizado en condiciones de alcalinidad. Sin embargo, los rendimientos alcanzados son aceptables desde el punto de vista productivo, lo que indica que sería un ambiente potencialmente apto para este cultivo. Es destacable la adaptabilidad que mostró la cebada cervecera a un suelo que usualmente sería considerado no apto para la agricultura.

Los dos ensayos en que se observaron respuestas a la fertilización con Cu tuvieron rendimientos mayores a los que no presentaban respuesta (4200 y 3780 kg ha⁻¹

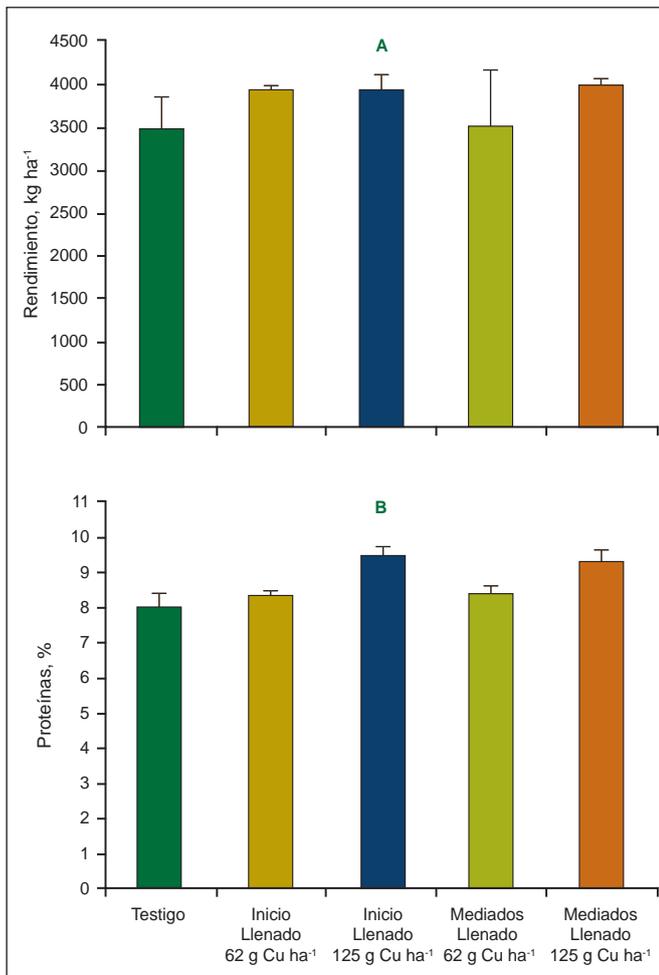


Figura 2. Rendimiento (A) y contenido proteico de los granos (B) en cultivos de cebada cervecera, con y sin fertilización foliar con quelatos de cobre (Cu) en dos dosis y dos momentos de aplicación (Ensayo 2009). Cada barra es la media de tres repeticiones y las líneas sobre las barras indican el error estándar.

en los sitios con respuesta, 2300 y 2870 kg ha⁻¹ en los sitios sin respuesta). Es posible, entonces, que la respuesta a este nutriente esté asociada a altos niveles productivos.

Las variedades de cebada cervecera más cultivadas actualmente en nuestro país presentan una marcada tendencia a presentar contenido proteicos inferiores a los requeridos por la industria (Wehrhahne, 2008). La fertilización foliar con Cu podría representar una herramienta útil para alcanzar los objetivos de calidad de este cereal.

Agradecimientos

Al Ing. Juan José Alé de la empresa Fragaría S.A por su colaboración en los ensayos.

Bibliografía

Ferraris, G.N. 2011. Micronutrientes en cultivos extensivos. ¿Necesidad actual o tecnología para el futuro? En: García, F.O., y A.A. Correndo (Eds.). La nutrición de cultivos integrada al sistema de producción. Actas Simposio Fertilidad 2011. 18 y 19 de Mayo del 2011.

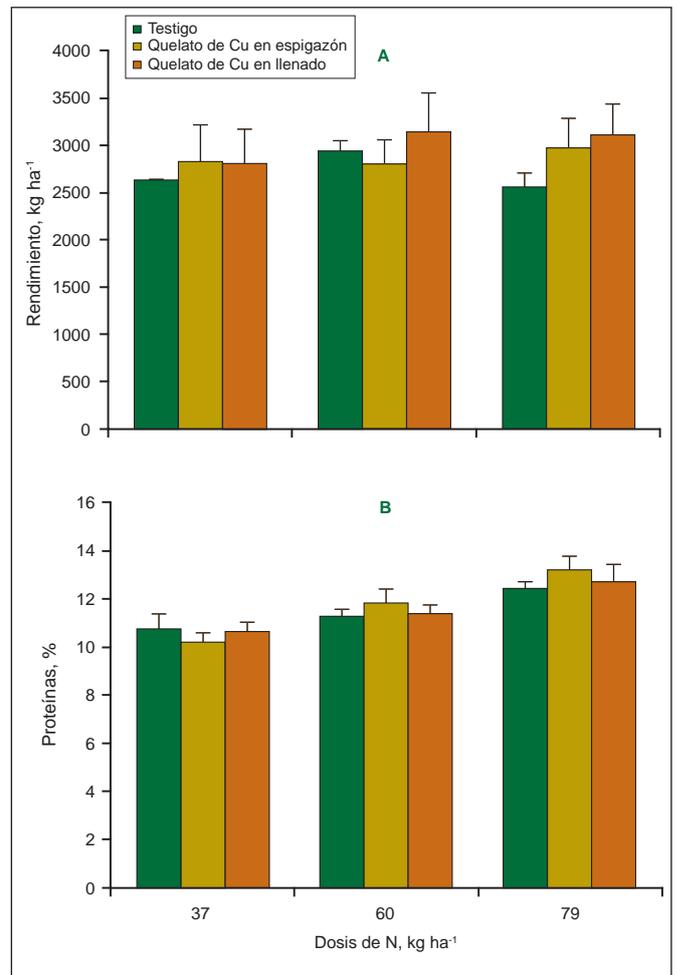


Figura 3. Rendimiento (A) y contenido proteico de los granos (B) en cultivos de cebada cervecera bajo la combinación tres niveles de nitrógeno (N) y tres tratamientos de fertilización con cobre (Cu) (Ensayo 2010). Cada barra es la media de tres repeticiones y las líneas sobre las barras indican el error estándar.

Rosario, Santa Fe, Argentina, IPNI Cono Sur - Fertilizar AC: 121-133.

Malhi, S.S., y R.E. Karamanos. 2006. A review of copper fertilizer management for optimum yield and quality of crops in the Canadian Prairie provinces. *Can. J. Plant Sci.* 86:605-619.

Melgar, R., J. Lavandera, M. Torres Duggan, y L. Ventimiglia. 2001. Respuesta de la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Ci. Suelo* 19:109-114.

Sainz Rozas, H., H.E. Echeverría, P.A. Calviño, P. Barbieri, y M. Redolatti. 2003. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de zinc y cobre en el sudeste bonaerense. *Ci. Suelo* 21:52-58.

Savin, R., y A. Aguinaga. 2011. Los requerimientos de la industria: calidad comercial e industrial y sus determinantes. En: Miralles, D.J., R.L. Benech Arnold, y L.G. Abeledo (Eds.). *Cebada cervecera*. Editorial FAUBA. Buenos Aires, Argentina: 207-238.

Wehrhahne, L. 2008. Evaluación comparativa de rendimiento y calidad de avena, cebada y trigo en Barrow. VII Congreso Nacional de Trigo y V Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Santa Rosa, Pcia. de La Pampa: S21. □

Microorganismos promotores del crecimiento vegetal*

Inés E. García de Salamone¹

Introducción

Existen numerosas evidencias en la literatura que indican que la utilización de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB, por sus siglas en inglés) puede tener un rol significativo en la sustentabilidad de los agroecosistemas (Reed y Glick, 2004; Antoun y Prevost, 2006). La inoculación con PGPB, contribuye a la implantación, desarrollo y producción de cultivos tales como arroz, trigo y maíz (García de Salamone et al., 2007; Baldani et al., 2008). La fijación biológica de nitrógeno (FBN) adquiere relevancia y puede ser incorporada a través de ciertas asociaciones cereal-PGPB para aportar nitrógeno (N) al agroecosistema (García de Salamone et al., 1996; Urquiaga et al., 2004).

Trabajos realizados en condiciones de laboratorio han mostrado interacciones entre variedades de trigo e híbridos de maíz y cepas de *Azospirillum* aisladas localmente (García de Salamone et al., 1989, 1990, 1992). En el marco de un proyecto de investigación binacional financiado por CONICET de Argentina y CNPq de Brasil (1989-1991) se llevaron a cabo trabajos de selección de cepas a partir de plantas de estos cereales cultivadas en condiciones de campo. Las mismas fueron aisladas de endorrizosferas de raíces de trigo y maíz muestreadas en floración y tratadas con Cloramina T, y luego maceradas para proceder a obtener los aislamientos.

El objetivo de selección fue, en todos los casos, obtener cepas que tuvieran elevada capacidad de fijar N, estimada a través de cromatografía gaseosa por el método de reducción de acetileno. La obtención de numerosas cepas de *Azospirillum* asociadas a la rizósfera de trigo con posibilidades de fijar N ya había desencadenado un interés fundamental en el progreso de investigaciones que relacionadas a los resultados obtenidos por diversos grupos de trabajo del mundo (García de Salamone y Monzón de Asconegui, 2008). Esas investigaciones ya habían aportado datos sobre la práctica de inoculación de semillas de gramíneas y su cultivo como posibles tecnologías de bajo costo para la incorporación de N₂ vía fijación biológica, con beneficios colaterales, como son una mayor efectividad en la producción agrícola-ganadera y un ahorro sustancial en el uso de la fuente no renovable de energía de los combustibles fósiles (Baldani et al., 2008; Boddey et al., 1986).

La historia de la aplicación de PGPB en nuestra región se remonta al Taller sobre *Azospirillum* realizado en el Laboratorio de Microbiología y Producción de Inoculantes, Montevideo, Uruguay, en agosto de 1993. Las conclusiones del mismo fueron compiladas por Okón y Labandera (1994), y conllevaron a un interés incipiente por algunas empresas productoras de inoculantes existentes en el mercado que empezaron a presupuestar y establecer programas de investigación y desarrollo de inoculantes de otras PGPB distintas a *Rhizobium*. En este contexto se realizaron numerosos trabajos para evaluar, en condiciones de campo, el comportamiento de cepas de *Azospirillum* aisladas de raíces de trigo y maíz, ya sea localmente en la región pampeana argentina, como así también algunas suministradas por el CNPAB de EMBRAPA, Brasil. En aquellos momentos se pensó en las posibilidades de combinar los efectos aún no perfectamente establecidos de esta bacteria rizosférica, intentando lograr bases experimentales para que la práctica de inoculación pudiera extenderse al productor agropecuario.

Los ensayos fueron programados con diseños factoriales en bloques completos aleatorizados (DBCA) con tres o más repeticiones. En la mayoría de los casos se consideraron combinaciones con dosis de N aplicadas en la práctica de campo. Las condiciones de manejo de los cultivos experimentales fueron similares a aquellas aplicadas por el dueño del establecimiento donde se instalaba cada ensayo o por el productor en general.

Experiencias en trigo

García de Salamone et al. (1990) pudieron demostrar que la inoculación con dos cepas de *Azospirillum brasilense* mejoró la implantación del cultivo. Esto resulta en un beneficio para el desarrollo de las futuras etapas de crecimiento. Un cultivo más rápidamente implantado comenzará más rápidamente a producir materia seca que le permitirá generar las estructuras de rendimiento por períodos más prolongados posibilitando de esta manera el logro de una mayor producción.

De los resultados de ensayos de campo se pudo concluir que la inoculación con esta bacteria rizosférica produjo ventajas fisiológicas y económicas para su aplicación al nivel de productor agropecuario (**Tabla 1**).

¹ Cátedra de Microbiología Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: igarcia@agro.uba.ar

* Adaptado de la conferencia presentada en el XII Congreso de Suelos de Ecuador organizado por la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo en Octubre de 2010.

Tabla 1. Niveles de respuesta promedio a la inoculación con PGPB en distintos ensayos de trigo conducidos en condiciones de campo en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Compilado de García de Salamone y Monzón de Asconegui (2008) y Naiman et al. (2009).

Tipo de suelo	Rango promedio de respuesta %
Hapludol húmico	2 - 34
Argiudol típico	0 - 30
Hapludol éntico	2 - 32
Argiudol ácuico	0 - 10

Con estos y algunos otros objetivos complementarios, como el analizar el efecto de la inoculación sobre las comunidades microbianas rizosféricas, se realizaron, en el periodo 2004-2006, experimentos de trigo en condiciones de campo con la tecnología aplicada por el productor. Las características generales de dichos ensayos fueron detalladas por García de Salamone y Monzón de Asconegui (2008).

El análisis conjunto de los experimentos descritos por estos autores muestra que la inoculación con *Azospirillum* incrementa el rendimiento en grano. La partición a espigas y la producción de biomasa aérea total se pueden incrementar mediante la práctica de inoculación con esta PGPB (Figura 1). Esto representa una ventaja para la producción de granos que favorece la sustentabilidad del agroecosistema pues significa mayor aporte de residuos al suelo. Sin embargo, la interacción “genotipo x ambiente x inoculante” observada refleja la necesidad de profundizar estos estudios. Como complemento a lo anterior, Naiman et al. (2009) observaron que prácticas tradicionales como la fertilización, modifican las comunidades microbianas rizosféricas en mayor medida que la práctica de inoculación con PGPB de los géneros *Pseudomonas* y *Azospirillum*, brindando similares incrementos de rendimiento y producción de biomasa aérea. Esto se complementa con la mayor producción de biomasa que se puede obtener con la inoculación con PGPB que en promedio para cuatro experimentos, incrementó un 21% la producción de biomasa aérea mientras la fertilización nitrogenada aumentó esta sólo en un 5%. Esto permite inferir que la inoculación con ciertas cepas de esta PGPB favorecería la producción en forma más sustentable, permitiendo la reducción de los niveles de aporte de nutrientes sin resentir el rendimiento esperado de trigo. Por otra parte, cuando se evaluaron varios cultivares de trigo se pudo observar diferencias significativas entre ellos en la respuesta a la inoculación con una combinación de cepas en una formulación experimental (Figura 2).

Experiencias en maíz

A comienzos de los años 90, la asociación entre la

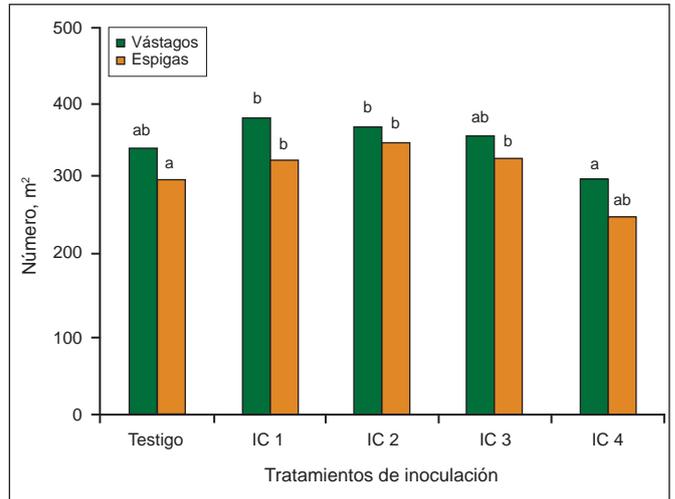


Figura 1. Número de vástagos y de espigas por m² en canopeos de trigo inoculado con distintos inoculantes comerciales (IC) aplicados sobre la semilla al momento de la siembra en comparación con el tratamiento testigo sin inocular. Las barras con letras iguales no difieren entre sí según la Prueba de Tukey ($p < 0.05$).

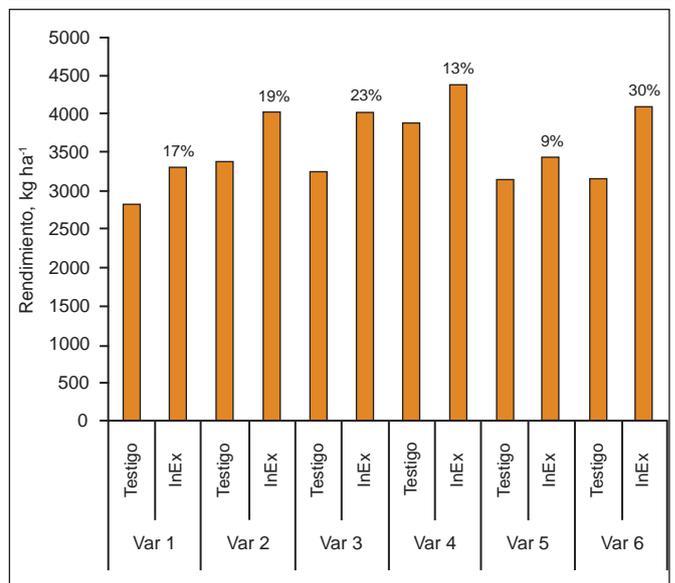


Figura 2. Incrementos de rendimiento en grano debidos a la inoculación con una formulación experimental de dos cepas de *Azospirillum brasilense* (InEx) de seis variedades comerciales de trigo (Var 1 a Var 6) cultivadas en condiciones de campo.

bacteria diazotrófica *Azospirillum* y plantas de cultivo ya era considerada un fenómeno de considerable valor científico y económico. También se sabía que un número elevado de factores condicionaban la respuesta a la inoculación en condiciones de campo. Con relación a esto, García de Salamone (1993), propuso que para usar estas asociaciones bacteria-planta, a escala agronómica, debería considerarse el criterio de ideotipo propuesto por Donald (1968) y utilizado en mejoramiento vegetal, donde la combinación exacta de ambos socios debería estar referida a un ambiente en particular.

Basándose en los resultados de varios ensayos se puede inferir que los programas de mejoramiento

Tabla 2. Niveles de respuesta promedio a la inoculación con PGPB en distintos ensayos de maíz conducidos en condiciones de campo en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Compilado de García de Salamone y Döbereiner, 1993; García de Salamone y Monzón de Asconegui (2008).

Tipo de suelo	Rango promedio de respuesta %
Argiudol típico	0 - 7
Argiudol aérico	2 - 94
Hapludol húmico	6 - 77
Argiudol vertico	5
Hapludol éntico	3 - 13

deberían incluir el estudio de las interacciones “*Azospirillum*-planta” con el fin de seleccionar genotipos de maíz que utilicen mejor las interacciones “suelo-planta-atmósfera” en la conformación de sistemas de cultivos que obtengan mayor rendimiento y estabilidad ecológica (Tabla 2).

La información disponible de la respuesta a la inoculación en la asociación *Azospirillum*-maíz en distintas condiciones ambientales indica que el análisis de varianza de “ensayo x año” muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) a favor de la inoculación con *Azospirillum* respecto a los testigos, independientemente del ensayo que se trate (García de Salamone y Döbereiner, 1993; García de Salamone y Monzón de Asconegui, 2008).

Experiencias en arroz

El arroz es un alimento básico para una gran proporción de la población mundial que debe enmarcarse también en programas de agricultura sustentable. Dos experimentos sembrados en las campañas 2006/2007 y 2008/2009 en la zona arroceras de la Provincia de Entre Ríos, del NE de Argentina, permitieron evaluar la respuesta de dos tratamientos de inoculación con *Azospirillum brasilense*, sobre la producción de biomasa y rendimiento del cultivo de arroz (García de Salamone et al., 2007; 2010; Gatica et al., 2009). Los inoculantes contenían dos cepas de *Azospirillum brasilense* y se realizó el análisis de la microflora rizosférica con potencialidad de fijar N. La dosis para 50 Kg de semilla fue 300 ml de producto con 10^9 ufc ml^{-1} . El número más probable (NMP) de diazotrofos rizosféricos disminuyó entre macollaje y llenado de granos. La capacidad de utilizar fuentes carbonadas por las comunidades microbianas presentes en la rizosfera fue distinta entre tratamientos.

La biomasa aérea del control fue 7256 y 15 183 kg ha^{-1} en macollaje y llenado, respectivamente. Los tratamientos con *Azospirillum brasilense* incrementaron significativamente esos valores en 15 y 35% para

macollaje y 28 y 50% para llenado de granos. El control rindió 8 370 kg ha^{-1} y la inoculación incrementó ese valor en 7.5%. Los resultados de este trabajo están indicando el alto potencial que tiene la práctica de inoculación con *Azospirillum* para este cultivo.

Estimaciones de FBN

Se ha demostrado que la inoculación con ciertas combinaciones bacteria-planta, tales como *Azospirillum*-maíz pueden aportar N proveniente de la FBN en niveles equivalentes a 100 kg N ha^{-1} (García de Salamone et al., 1996). Este aporte de N podría colaborar con la sustentabilidad del agroecosistema pues puede mejorar la calidad de los residuos y posibilitar una reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados. Por otra parte, se pudo observar que la inoculación con *Azospirillum brasilense* modificó la relación delta (δ) $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ tanto de plantas de arroz como de trigo en la etapa de llenado de grano (García de Salamone et al., 2009). Es por ello, que se puede concluir que las plantas de arroz aumentaron la cantidad de N derivado de la FBN cuando se aplicó la inoculación con *Azospirillum*.

Las malezas y las plantas de trigo mostraron diferencias significativas entre los genotipos en los valores de la relación δ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. La gran variabilidad se manifestó en las relaciones δ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de las plantas de trigo sin inocular y esto indica la posibilidad de utilizar estos valores para calcular el N derivado de la FBN para las plantas de trigo inoculadas. El valor medio de las relaciones δ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de malezas en el experimento de trigo fue de 8.64. Las estimaciones de los porcentajes de FBN mostraron variabilidad entre los genotipos de la planta como se informó antes con genotipos de maíz (García de Salamone et al., 1996) en asociación con bacterias PGPB. La relación entre los valores de δ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ entre el tratamiento de control y las plantas inoculadas de trigo muestran que en promedio, el rango de porcentajes de N derivado de la FBN fue 13-55%. Esto significa que la inoculación con *Azospirillum* puede producir cambios en la fisiología de plantas que pueden estar relacionados con la FBN.

Con el fin de aumentar la precisión, es necesario obtener una mejor estimación del valor δ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ del suelo (Alves et al., 2008). Una síntesis de estos trabajos indica que los niveles de FBN deberían ser considerados como un aporte de este elemento que debe ser considerado y mejorado mediante el mejoramiento de los cultivos y de los inoculantes empleados (Tabla 3). Los recuentos del número más probable de microorganismos (NMP) oxidantes del amonio aumentaron cuando las semillas de ambos cultivos se inocularon con *Azospirillum brasilense*. Sin embargo, los NMP mostraron respuestas a la inoculación diferentes para estos dos cultivos. Los valores de NMP para las plantas

Tabla 3. Valores promedio medidos de la relación $\delta^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ y estimados de los porcentajes de ocurrencia de FBN en cultivos de trigo y arroz cultivados en condiciones de campo de productores.

Cultivo	Promedios de valores de la relación $\delta^{15}\text{N}/^{14}\text{N}^{(1)}$		FBN %
	Malezas ⁽²⁾	Plantas Prueba	
Trigo	8.64	6.14	29.90
Arroz	14.37	13.10	12.20

(1) *Compilado de García de Salamone et al., (2009); D'Auria et al., (2011).*

(2) *Malezas: corresponde al promedio de 3 o más especies vegetales creciendo en el área de cada ensayo que fueron muestreadas simultáneamente con cada cultivo y que no pertenecen a las Familias Gramíneas y Leguminosas.*

de arroz fueron significativamente inferiores en el suelo asociado a las plantas inoculadas. Sin embargo, el valor de N potencialmente mineralizable del suelo, asociado a las plantas de trigo sin inocular, fue de 5.3 mg de $\text{N-NH}_4 \text{ kg}^{-1}$ de suelo, que fue significativamente ($p < 0.05$) menor a 10.3 mg de $\text{N-NH}_4 \text{ kg}^{-1}$ de suelo observados para el caso asociado a las plantas inoculadas (García de Salamone et al., 2009; D'Auria et al., 2011).

Síntesis y perspectivas

Los resultados obtenidos mostraron la capacidad de ciertas PGPB de modificar la ecofisiología de los cultivos tales como trigo, maíz y arroz en condiciones de campo. Sin embargo, la información disponible estaría indicando que la interacción cepa-planta-ambiente es relevante para los resultados de inoculación que se pueden obtener (García de Salamone y Cassan, 2010).

Se observó que la respuesta a la inoculación es variable y que los microorganismos presentes pueden colonizar y permanecer en la rizosfera. Incrementos en rendimiento y producción de biomasa deberían ser considerados de relevancia ecológica y ser estudiados desde el punto de vista de la ecología microbiana. Además se deberían estudiar estos aspectos utilizando cepas aisladas con capacidad de fijar N en asociación con la planta. Esto podría aumentar el nivel de respuesta y mejorar la eficiencia de uso de los recursos disponibles.

La introducción de rizobacterias, podría provocar modificaciones en la actividad microbiana en la rizosfera y, por ello, deberían ser estudiados (García de Salamone y Cassan, 2010). Es sabido que la diversidad microbiana puede utilizarse como índice de calidad de suelo y que las condiciones de manejo la pueden modificar (García de Salamone et al., 2006; 2007). En relación con esto, y sumado a que la práctica de inoculación con *Azospirillum* está siendo utilizada por un número creciente de productores agropecuarios en diversas áreas agrícolas del mundo, se debería aportar

conocimiento sobre la ecología microbiana de la rizosfera de los cultivos en condiciones de campo cuando se aplican rizobacterias.

Los resultados compilados en esta revisión están en concordancia y pueden ser ampliados con aquellos revisados por Reed y Glick (2004) y Bashan et al. (2004). Toda la información disponible indica que la inoculación con *Azospirillum* debe ser favorecida. Sin embargo, la variabilidad en las capacidades tanto de esta PGPB como aquella de las plantas a las que esta está dirigida deben ser ajustadas y potenciadas incluyendo mecanismos alternativos tales como FBN, producción de fitorreguladores, control biológico entre otros para mejorar así los niveles de respuesta a la inoculación a campo (Cassan y García de Salamone, 2008).

Los efectos directos de la utilización de PGPB en cultivos de cereales ejercen un rol significativo en procesos fundamentales del ecosistema como la recirculación de carbono y N. Además, se han abordado estos problemas con ensayos a campo que han entregado un conjunto de evidencias que nutre la propuesta aquí presentada. La suma de esta experiencia previa y la interacción con miembros del equipo de investigadores, redundará en un aporte significativo para conectar procesos que ocurren en la porción aérea del ecosistema con procesos que ocurren en la porción subterránea.

Agradecimientos

Todos los trabajos experimentales, cuyos resultados se incluyeron en esta revisión fueron apoyados por la Universidad de Buenos Aires UBACyT, ANPCyT, FONCyT y recibieron aportes adicionales de los proyectos de colaboración, tales como Prosul/CNPq, CYTED, PROMAI y AUGM. El autor agradece profundamente la dedicación al trabajo dado por todos sus estudiantes de pregrado, postgrado y colaboradores de investigación que participan con gran entusiasmo en el campo y en el laboratorio. Merecen un reconocimiento especial los productores que abrieron las tranqueras de sus campos para la realización de los experimentos descritos así como las empresas de inoculantes que proporcionaron los inoculantes comerciales PGPB utilizados en los experimentos presentados en este artículo. La autora también agradece a los editores y revisores anónimos por sus comentarios y sugerencias.

Bibliografía

- Alves, B.J.R., O.C. Oliveira, R.M. Boddey, y S. Urquiaga. 2008. Métodos isotópicos. En: Gabriel de A. Santos, Leandro S. da Silva, Luciano P. Canellas y Flavio A.O. Camargo. (Org.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 ed. : Editora Metrópole, Porto Alegre. pp. 229-242.

- Andrén, O., A. Hansson, C. Végh, y K. Barley. 1993. Nutrient uptake, root growth and depth distribution in two soil types in a rhizotron with vertical and horizontal minirhizotrons. *Swed. J. Agric. Res.*, v. 23:115-126.
- Antoun, H., y D. Prevost. 2006. Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. En: Z.A. Siddiqui (Ed.). *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*, Springer, Dordrecht, pp. 1-38.
- Baldani, D.V.L., J. Silva Ferreira, K.R. dos Santos Teixeira, J.I. Baldani, y V. Massena Reis. 2008. Inoculants base on nitrogen-fixing bacteria *Azospirillum* spp. and their application in tropical agriculture. En: Cassan, F.D., I.E. García de Salamone (Eds.). *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Asociación Argentina de Microbiología, B.A. pp. 227-237.
- Barea, J.M. 2004. Impacto de las micorrizas en la calidad del suelo y la productividad vegetal en sistemas agrícolas y espacios naturales. En: Monzón de Asconegui, M.A., I.E. García de Salamone, S.S. Miyazaki (Eds.). *Biología del suelo. Transformaciones de la materia orgánica, usos y biodiversidad de los organismos edáficos*. Editorial FAUBA. Universidad de Buenos Aires. pp. 7-11.
- Bashan, Y., G. Holguin, y L.E. de Bashan. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances (1997-2003). *Can. J. Microbiol.* 50: 521-577
- Boddey, R.M., V.L.D. Baldani, J.I. Baldani, y J. Dobereiner. 1986. Effect of inoculation of *Azospirillum* spp. on nitrogen accumulation by field grown wheat. *Plant Soil*, 90: 265-292.
- Cassan, F.D., y I.E. García de Salamone. 2008. *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Asociación Argentina de Microbiología. Bs.As.
- D'Auria, F. J. Escobar Ortega, M. Lopez de Sabando, I.E. Garcia de Salamone, D. Giorgini, M.M. Zubillaga. 2011. Mineralización de nitrógeno y microorganismos asociados en un cultivo de trigo de Buenos Aires, Argentina. VIII Reunión nacional científico técnica de biología del suelo. Salta, Argentina. Nacional. 6,7 y 8 de julio. REBIOS.
- Donald, C.M. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*, 17: 385-403.
- García de Salamone, I.E. 1993. Effects of the inoculation with *Azospirillum* on plant growth and grain production of wheat and corn plants growing in field conditions at several sites of Buenos Aires. Taller sobre *Azospirillum*. Lab. Microbiol. Produccion Inoculantes. Montevideo, Uruguay.
- García de Salamone, I.E., y J. Dobereiner. 1993. Asociación "*Azospirillum*-maíz": Analisis de consistencia en la respuesta sobre rendimiento y absorción de nitrógeno. XX Reunión Arg. Fisiol Veg. SC Bariloche. Rio Negro. SAFV-Universidad Nacional del Sur.
- García de Salamone, I.E., y J. Dobereiner. 1996. Maize genotype effects on the response to *Azospirillum* inoculation. *Biol. & Fertil. Soils* 21: 193-196.
- García de Salamone, I.E., y F.D. Cassan. 2010. Primer Taller Internacional sobre Rizosfera, Biodiversidad y Agricultura Sustentable. 21 y 22 de Octubre, SOMEVE, Buenos Aires, Argentina, DIMAYA-AAM.
- García de Salamone, I.E., y M.A. Monzón de Asconegui. 2008. Ecofisiología de la respuesta a la inoculación con *Azospirillum* en cultivos de cereales. En: Cassan, F., y I.E. García de Salamone (Eds.). *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. pp. 209-226.
- García de Salamone, I.E., M.A. Monzón de Asconegui, M. Zanchetti, J. Ducos, J. Sarandon, y B. Michelini. 1989. Efecto de la inoculación con *Azospirillum* sobre cultivos de maíz creciendo en la provincia de Buenos Aires. X Reunión Latinoamericana y XVIII Reunión Nac. Fisiol Veg. Puerto Iguazú, Misiones.
- García de Salamone, I.E., N. Laballos, y M.A. Monzón de Asconegui. 1990. Respuesta a la Inoculación con *Azospirillum brasilense* de *Triticum aestivum* L. cv. Buck Pucara en condiciones de campo. II Cong. Nac. Trigo I (111-117). Pergamino, BA, 17-19/10. AIANBA.
- García de Salamone, I.E., M.A. Monzón de Asconegui, M. Zawosnik, y M. Zanchetti. 1992. Respuesta de tres Híbridos Comerciales de Maíz a la Inoculación con *Azospirillum*. *Turrialba* 42:3, 359-364.
- García de Salamone, I.E., J. Dobereiner, S. Urquiaga, y R.M. Boddey. 1996. Biological Nitrogen Fixation in *Azospirillum* strain-maize genotype associations as evaluated by the 15N isotope dilution technique. *Biol. & Fertil. Soils* 23: 249-256.
- García de Salamone, I.E., M. Rorig, L. Di Salvo, y R. Michelena. 2006. Comunidades microbianas en capas superficiales de un suelo Haplustol éntico bajo siembra directa. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Argentina. 19-22 de Setiembre.
- García de Salamone, I.E., R. Michelena, A. Rodríguez, I. Montemitoli, S. Gatti, M. Rorig. 2006. Ocurrencia de micorrizas vesículo arbusculares en plantas de maíz, soja y trigo en sistemas de siembra directa. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires*. 26 (1):67-72.
- García de Salamone, I.E., L.P. Di Salvo, J.S. Escobar Ortega, y A.E. Tovagliari. 2007. Respuesta del cultivo de arroz a la inoculación con *Azospirillum* y fisiología de las comunidades bacterianas rizosféricas. VI Reunión Nacional Científico-Técnica de Biología de Suelos y VI Encuentro sobre Fijación Biológica de Nitrógeno, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 4-6 de Julio.
- García de Salamone, I.E., J.S. Escobar Ortega, M. Gatica, L.P. Di Salvo, M.V. Vilches, M.M. Zubillaga, y S. Urquiaga. 2009. Effect of *Azospirillum* inoculation on N-cycling microorganisms associated with rice and wheat crops. 16th Nitrogen Workshop, <http://www.nitrogenworkshop2009.org/>. Turin, Italy 28/6 al 1/7.
- García de Salamone, I.E., L.P. Di Salvo, J.S. Escobar Ortega, M.P. Boa Sorte, S. Urquiaga, K.R. Dos Santos Teixeira. 2010. Field response of rice paddy crop to inoculation with *Azospirillum*: physiology of rhizosphere bacterial communities and the genetic diversity of endophytic bacteria in different parts of the plants. *Plant and Soil* DOI: 10.1007/s11104-010-0487-y.
- Gatica, S.M., M.B. Anzovini, L.P. Di Salvo, J.S. Escobar Ortega e I.E. García de Salamone. 2009. Inoculación de arroz con *Azospirillum brasilense*: Incremento en rendimiento con impacto reversible sobre las comunidades microbianas nativas. VII Reunión Nacional Científico Técnica de Biología del Suelo y Fijación Biológica del Nitrógeno. San Miguel de Tucumán, Tucumán, 1-3 de Julio. REBIOS.
- Naiman, A.D., A.E. Latronico, y I.E. García de Salamone. 2009. Inoculation of Wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: impact on the production and rhizospheric microflora. *European Journal of Soil Biology* 45:44-51. doi:10.1016/j.ejsobi.2008.11.001.
- Okon Y., y C.A. Labandera. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biol. Biochem.* 26:1591-1601.
- Reed, M.L.E., y B.R. Glick. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek* 86:1-25.
- Urquiaga, S., C.P. Jantalia, B.J.R. Alves, y R.M. Boddey. 2004. Importancia de la FBN en el secuestro de carbono en el suelo y en la sustentabilidad agrícola. En: Monzón de Asconegui, M., I.E. García de Salamone, S. Miyazaki (Eds.). *Biología del suelo. Transformación de la materia orgánica. Usos y biodiversidad de los organismos edáficos*. Editorial FAUBA, Buenos Aires: pp. 1-6. □

Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos

Adrián A. Correndo y Fernando O. García*

El análisis vegetal como herramienta de diagnóstico

El análisis de plantas, a veces erróneamente referido como análisis foliar, es una técnica que determina el contenido de los nutrientes en tejidos vegetales de plantas de un cultivo muestreado en un momento o etapa de desarrollo determinados (Munson y Nelson, 1986; Campbell, 2000). Esta herramienta se basa en los mismos principios que el análisis del suelo, asumiendo que la concentración de nutrientes en la planta está directamente relacionada con la habilidad del suelo para proporcionarlos y a su vez, con la productividad de las plantas.

Normalmente, el término análisis de planta se refiere al análisis cuantitativo de laboratorio de los tejidos vegetales recolectados. Sin embargo, también existen metodologías denominadas semicuantitativas, para llevar a cabo a campo, que mediante diferentes pruebas determinan el contenido de nutrientes solubles en savia, como el test de nitratos en jugo de base del tallo en maíz (Blackmer y Mallarino, 1996), u otros métodos indirectos como los que determinan el índice de verdor, un estimador de la clorofila y el estatus nitrogenado (Ferrari et al., 2010). Estos análisis pueden dar una idea del contenido de nutrientes pero no poseen la precisión característica de un análisis de planta. El análisis vegetal es una herramienta sumamente eficiente para evaluar la nutrición del cultivo ya que el contenido de nutrientes en planta es un valor que resulta de la interacción entre el cultivo, el ambiente y el manejo.

Las utilidades del análisis vegetal pueden ser diversas tales como:

- Verificar síntomas de deficiencias nutricionales.
- Identificar deficiencias asintomáticas ("hambre oculta").
- Indicar interacciones entre nutrientes (**Tabla 1**).
- Localizar zonas del lote que se comportan en forma diferente.
- Evaluar el manejo nutricional de los cultivos.

N: nitrógeno, **P:** fósforo, **K:** potasio, **Ca:** calcio, **Mg:** magnesio, **S:** azufre; **B:** boro, **Cl:** cloro, **Cu:** cobre, **Fe:** hierro, **Mn:** manganeso, **Mo:** molibdeno; **Zn:** zinc.

Así, utilizando el análisis de planta para realizar un seguimiento y registro en etapas tempranas del ciclo de los cultivos, el agricultor puede determinar si se requiere o no de tratamientos correctivos de fertilización. Por otra parte, puede ser muy provechoso para el caso de cultivos perennes como alfalfa o en el planeamiento de los futuros cultivos anuales (Aldrich, 1986), determinando en etapas avanzadas del ciclo si los niveles de fertilidad del suelo y los fertilizantes aplicados fueron suficientes para satisfacer los requerimientos de los cultivos (Jones, 1998).

En el aspecto práctico de esta técnica, la misma comprende una secuencia de procedimientos con igual importancia: muestreo, análisis químico e interpretación.

Muestreo

Es importante considerar que el diagnóstico foliar exige un rigor de muestreo mayor que el del análisis de suelos, debido a que la especie, edad, tipo de tejido (planta entera, vainas, hojas completas, láminas, etc.), momento de muestreo, y el nutriente en cuestión, son variables que afectan la interpretación de los resultados. Así, por ejemplo, intervienen diferentes factores fisiológicos como la movilidad de los nutrientes dentro de la planta: algunos son móviles (como N, K y P), mientras que otros se acumulan a medida que los tejidos maduran y no se remobilizan hacia nuevos tejidos (como Ca y Fe).

Para obtener muestras vegetales representativas y comparables, en primer lugar es necesario determinar en qué momento y cuáles son los tejidos vegetales a recolectar. Si bien es cierto que generalmente el tejido foliar es el que mejor refleja el estado nutricional, no se trata de cualquier hoja de la planta: como regla general debemos tomar muestras correspondientes a tejidos similares y en el mismo estado fisiológico a los definidos por la referencia con la cual se compararan los resultados del análisis, es decir siguiendo las instrucciones correspondientes al método de interpretación que se utilizará (**Tabla 2**). Por ejemplo, el tejido utilizado para el análisis del estado nutricional del cultivo de

* IPNI Cono Sur – Av. Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico : acorrendo@ipni.net.

Tabla 1. Efectos comunes del agregado de nutrientes sobre la concentración foliar de otros nutrientes. Adaptado de Malavolta et al. (1997).

Nutrientes agregados	Efecto sobre el tenor foliar												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
N	+		-	+		-	-						
P		+					-	-	-			+	-
K			+	-	-								
Ca			-	+	-								
Mg		+	-	-	+						-		-
S		-				+		-				-	
B							+						-
Cl						-		+					+
Cu									+	-	-	-	-
Fe										-	+	-	
Mn				-							-	+	-
Mo									-			+	
Zn		-											+

soja corresponde comúnmente al primer trifolio superior maduro, excluyendo el pecíolo, en la época de plena floración (R2; Ritchie et al., 1985), recolectando al menos 30 hojas (García et al., 2009). Los pecíolos son tejidos conectivos que poseen mayores y más variables concentraciones de nutrientes como N, P y K que la lámina de las hojas, lo cual nos puede conducir a errores a la hora de interpretar resultados si se incluyen ambos tejidos en la muestra (Jones, 1998).

Para el caso del maíz, normalmente se toman muestras en el estado fenológico de anthesis (R1, Ritchie et al., 1996). Los valores de referencia utilizados en la interpretación con fines de diagnóstico basados en el nivel crítico para maíz en el período reproductivo, pueden tener en cuenta a distintas hojas: la hoja opuesta e inferior de la espiga (Malavolta et al., 1997), la hoja de la espiga (Voss, 1993; Jones, 1998; Campbell y Plank, 2000b) y la última hoja completamente desarrollada debajo del verticilo en la parte superior de la planta (Jones, 1991). En este sentido, en la Provincia de Entre Ríos (Argentina), Valenzuela y Ariño (2000a) observaron que para ciertos nutrientes (P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mo, y Cu), las concentraciones foliares pueden variar en función de la hoja muestreada (hoja de la espiga o inferior y opuesta). Por ello, cuando comparamos con valores de referencia, es muy importante considerar los procedimientos de muestreo utilizados.

Por otra parte, es necesario dejar en claro un criterio de segregación a la hora del muestreo (Jones, 1998). Así, deberíamos evitar muestrear plantas bajo las siguientes condiciones:

- Largos períodos de estrés climático o nutricional.
- Con daño mecánico o por insectos.
- Afectadas por enfermedad.
- Cubiertas por productos foliares que no pueden ser removidos con facilidad.
- Borduras u hojas sombreadas dentro del canopeo.
- Tejido vegetal muerto.

Finalmente para el acondicionamiento de las muestras recolectadas se recomienda guardar las mismas en bolsas de papel (rotuladas) para favorecer la pérdida de humedad y evitar el deterioro antes de enviarlas al laboratorio (Campbell y Plank, 2000a). La contaminación de las muestras con suelo (polvo, por ejemplo) es una fuente importante de error. En laboratorio, frecuentemente, las muestras deben lavarse cuidadosamente con agua destilada.

Análisis químico

El análisis químico de tejido vegetal tiene como objetivo determinar el contenido de nutrientes, para comparar con los de plantas sin deficiencias

Tabla 2. Detalle de los procedimientos de muestreo para el diagnóstico en tejido foliar de los principales cultivos extensivos.

Cultivo	Momento de muestreo	Tejido de la planta	Muestras ha ⁻¹	Referencias
Trigo	Emergencia - Macollaje	Planta entera, corte a 2.5 cm a ras de suelo	30	1, 2, 3, 4
	Encañazón - Inicios de floración	Hojas 1 a 4 desde el ápice	30-50	
Cebada	Emergencia de espiga	Planta entera (parte aérea)	30-50	1, 2, 4
Arroz	Macollaje - Inicio panojamiento floración	Hoja más joven completamente desarrollada hoja bandera	25-50	1, 2, 5
Maíz	V3-V4	Planta entera	15-30	1, 2, 3, 6
	Emergencia de estigmas	Hoja de la espiga u hoja opuesta y debajo de la espiga	15-30	
Sorgo	Inicios de macollaje	Hojas del tercio medio	30	1, 2, 8, 9
	Vegetativo o previo a panojado	Primer hoja madura desde el ápice	15-30	
	Floración	Hoja 2 desde el ápice	15-30	
Soja	Etapa vegetativa	Primer hoja madura desde del ápice, sin pecíolo	30-50	1, 2, 3, 10
	Plena floración – Inicio de formación de vainas		30-50	
Colza	Previo a floración	Lámina de la hoja más recientemente madura	30	11
Girasol	Inicios de floración	Hojas del tercio superior	30	1, 2, 12
Alfalfa	Primer floración	10-15 cm superiores	15-30	1, 3, 13
Algodón	Inicios de floración	Limbo de hojas adyacentes a las flores	30	1, 2, 14
Papa	A 30 cm de altura	Hoja superior desarrollada, sin pecíolo	30-50	1, 15, 16
	Llenado de tubérculos	Pecíolo de la cuarta hoja superior desarrollada	50-60	
Caña de azúcar	4 meses post-brotación	Hoja +3; hoja +1 = con 1er. lígula (región de inserción de la vaina madre), tercio medio excluyendo nervadura principal	20-30 por tallo uniforme	2, 17, 18

Referencias: 1) Jones, 1998; 2) Malavolta et al., 1997; 3) Jones, 1991; 4) Plank y Donahue, 2000; 5) Dobermann y Fairhurst, 2000; 6) Campbell y Plank, 2000b; 7) Voss, 1993; 8) Clark, 1993; 9) Cox y Unruh, 2000; 10) Sabbe et al., 2000; 11) Plank y Tucker, 2000; 12) Merrien et al., 1986; 13) Plank, 2000; 14) Mitchell y Baker, 2000; 15) Ulrich, 1993; 16) Westermann, 1993; 17) Gascho, 2000; 18) Gascho et al., 1993.

nutricionales y, conjuntamente con los resultados del análisis de suelo, recomendar mejores prescripciones de fertilización. Una vez que las muestras representativas han sido recolectadas del campo, se envían al laboratorio para proceder al análisis químico. Los resultados de los análisis de macronutrientes se expresan, generalmente en g kg⁻¹ de materia seca o en unidades de porcentaje relativas al peso seco, en tanto que los micronutrientes se expresan en mg kg⁻¹ (equivalente a ppm), también en relación al peso seco.

Interpretación

Existen varias metodologías para la interpretación de los resultados de los análisis vegetales. De manera general, se establecen diferentes categorías de contenido de nutrientes en tejido vegetal (Figura 1):

- A) *Zona de deficiencia severa*, la curva en "C" donde la producción aumenta, pero el nivel de nutrientes en tejido disminuye, se denomina efecto de Steenbjerg (Steenbjerg, 1954). Esto ocurre cuando la tasa de producción de materia seca es mayor que la velocidad de absorción o de transporte del elemento hacia el tejido foliar, causando su dilución.
- B) *Zona de ajuste*, solo en esta parte de la curva se observa la relación entre el nivel foliar y el crecimiento o la producción. A menudo existe una relación lineal entre el aumento de la concentración foliar y la producción.
- C) *Zona de suficiencia*, generalmente es una banda estrecha debajo de la cual la producción decrece fuertemente debido a la falta de un nutriente. Aquí se encuentra el llamado "nivel crítico inferior" o simplemente nivel crítico, que corresponde generalmente a tenores de nutrientes asociados con una intensidad máxima de procesos fisiológicos definidos, tales como la actividad fotosintética (Malavolta et al., 1997).
- D) *Zona de consumo de lujo*, es más ancha en el caso

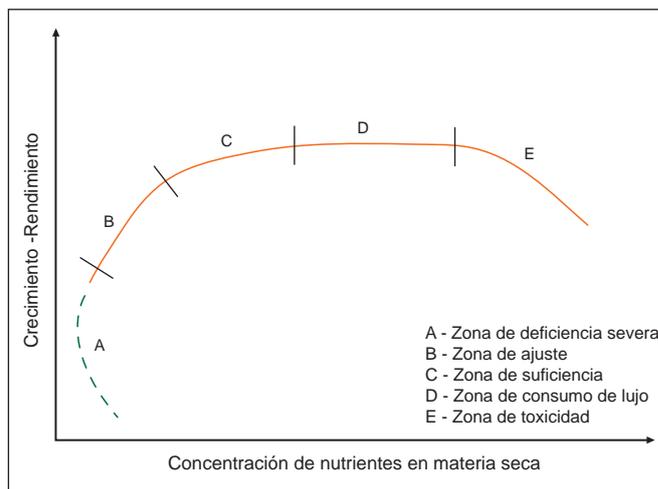


Figura 1. Relación general entre el crecimiento y/o rendimiento y el contenido de nutrientes en tejido vegetal. Adaptado de Jones (1998).

de los macronutrientes como K, y mucho más estrecha en otros casos, como con B. El nivel foliar aumenta, mientras que la producción permanece constante, por lo que hay un desperdicio de nutrientes.

- E) *Zona de toxicidad*, el nivel del nutriente aumenta aún más y la producción disminuye, ya sea como consecuencia de un efecto tóxico del elemento o como resultado del desbalance entre los elementos (Walworth y Sumner, 1987).

Los análisis que detectan valores en los rangos de bajo a deficiente, pueden estar asociados a síntomas visibles de deficiencias y/o rendimientos reducidos. Por el contrario, análisis foliares en los rangos altos o de exceso, se asocian a consumos de lujo o a situaciones de toxicidad que conducen potencialmente a bajos rendimientos o mala calidad de los productos cosechados (Melgar et al., 2011).

El diagnóstico foliar basado en el nivel crítico es uno de los criterios más difundidos de interpretación del análisis de plantas y requiere que la concentración de nutrientes sea comparada con valores estándares para

Tabla 3. Guía general para el criterio de rangos: niveles críticos (deficiencia), de suficiencia, y tóxicos de los nutrientes vegetales. Adaptado de Bennett (1993).

	N	P	K	S	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	----- % -----						----- mg kg ⁻¹ -----					
Nivel crítico	< 2.0	< 0.2	< 1.0	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 10	< 3-5	< 50	< 10-20	< 0.1	< 15-20
Suficiencia	2.0-5.0	0.2-0.5	1.0-5.0	0.1-0.3	0.1-1.0	0.1-0.4	10-100	5-20	50-250	20-300	0.1-0.5	20-100
Toxicidad	No tox.	No tox.	No tox.	No tox.	No tox.	No tox.	> 100	> 20	No tox.	> 300	> 0.5	> 400

^a Los niveles de nutrientes para ciertos cultivos pueden variar hacia niveles más altos, sin toxicidad. Por ejemplo, para crucíferas, el rango de suficiencia para S es de 3 a 5 veces mayor que para cultivos de granos y legumbres.

^b Los nutrientes listados como no tóxicos (No tox.), cuando se encuentran en exceso, pueden causar desbalances y ser perjudiciales para el crecimiento, pero rara vez son tóxicos.

un determinado nutrimento, estado fenológico y órgano establecido (Bates, 1971). Las calibraciones de niveles críticos consideran como tal a la concentración mínima del nutriente con la que se logra 90-95% del rendimiento máximo. Una de las desventajas del criterio de niveles críticos radica en que estos valores pueden variar entre un 25% o más en función de diferentes condiciones.

Una alternativa al nivel crítico es el criterio de “suficiencia o rangos de suficiencia”, que es el más popular y se pretende que los valores foliares no sean inferiores a un nivel considerado como crítico o se sitúen dentro de un rango de suficiencia (**Tablas 3 y 4**). La alternativa de utilizar “rangos” en lugar de niveles críticos se basa en que estos últimos no son valores estrictos de inflexión, y los rangos otorgan ventajas sobre todo en la identificación de deficiencias asintomáticas, que muchas veces pueden encontrarse por encima del nivel crítico (Campbel y Plank, 2000a).

Los rangos de suficiencia indicados en la **Tabla 4**, a modo de guía específica por cultivo, provienen de numerosas referencias que son indicadas al final de este archivo agronómico. Debe considerarse que estos rangos son orientativos ya que agrupan información de diversos autores y no son específicos para distintas regiones y condiciones de cultivos. La información local, en cuanto a rangos críticos de concentración, será siempre de mayor valor en la evaluación del diagnóstico nutricional de las plantas.

Los criterios anteriores, nivel crítico y rangos de suficiencia, dependen del estado fisiológico del muestreo y, por otra parte, no consideran interacciones entre los nutrientes. Una alternativa (no discutida en este escrito) consiste en la llamada metodología DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System), que se basa en establecer relaciones empíricas de cada nutriente con los demás, independientemente del estado fenológico, comparando con una población de referencia a través de un índice (Beaufils, 1973; Elwali et al., 1985). A nivel local existen diversas experiencias en los cultivos de maíz y trigo utilizando este criterio (Ratto de Miguez et al., 1991; Valenzuela y Ariño, 2000b; Landriscini et al., 2001; Hisse et al., 2011a y 2011b).

Implementando el análisis de planta

Las mejores prácticas de manejo (MPM) de la nutrición de cultivos deben considerar los criterios de 4Cs en el manejo de la fertilización: fuente correcta aplicada a la dosis, forma y momento correctos (Bruulsema et al., 2008). Para el agricultor, la cuestión principal radica en la decisión de que herramientas utilizar para tal objetivo, basándose en los aspectos prácticos, en la confiabilidad y, por supuesto, en la rentabilidad. Lo cierto es que no existen recetas universales de

recomendación, y que cada herramienta que incorporemos al manejo es potencialmente útil.

Un método de interés para diagnosticar el estado nutricional mediante el análisis de planta, consiste en la aproximación de cinco pasos descrita por Ulrich y Hills (1967):

1. Diagnóstico visual: comparando síntomas foliares inusuales con aquellos de deficiencias de nutrientes reportados por diversos autores y fuentes. Los síntomas deberían detectarse tan pronto como aparezcan en el cultivo, ya que a medida que nos retrasamos podrían ser más difíciles de identificar debido a la interacción con otros factores del ambiente, así como también se perderá tiempo para corregir las posibles deficiencias.
2. Verificar el diagnóstico visual mediante la comparación de resultados de análisis de tejido vegetal (con y sin síntomas de deficiencias), con los valores críticos para nutrientes reportados en tablas como en la presente nota y otras referencias. Las **Tablas 3 y 4**, a modo orientativo, muestran valores que pueden utilizarse como guía. Para el análisis químico, el muestreo de tejido vegetal debe seguir ciertas normas para la obtención de muestras comparables (**Tabla 2**). Así, por ejemplo, deben ser recolectadas al mismo tiempo, ya que pasado cierto período, las plantas podrían superar los síntomas de deficiencia, por ejemplo, síntomas de deficiencias de P o Zn inducidas por bajas temperaturas del suelo, pueden recuperarse al incrementarse la temperatura edáfica. Además, cuando observamos síntomas que son similares, con el análisis químico podemos distinguir, por ejemplo, quemaduras en las hojas causadas por sequía, de quemaduras causadas por deficiencia de nutrientes como K, o incluso entre deficiencias. El análisis de tejido permitirá verificar si los síntomas han sido identificados correctamente.
3. Fertilización según los requerimientos del cultivo, ya sea a modo de prueba o sobre todo el lote, dejando un área sin fertilizar para la comparación. Cabe aclarar que es válida la consideración del momento de fertilización, que es variable según la logística del productor.
4. Confirmar mediante la toma de muestras de tejido foliar, luego de un evento de lluvia o riego que haya sido suficiente, para asegurar que el fertilizante agregado fue efectivamente absorbido por las plantas y que la deficiencia ha sido corregida.
5. Prevenir las deficiencias nutricionales y pérdidas en el actual y en los próximos cultivos mediante el seguimiento de un programa de análisis de plantas. Un programa sistemático puede ser utilizado no solo para la prevención de deficiencias de

Tabla 4. Rangos de suficiencia¹ de nutrientes en los principales cultivos extensivos.

Referencias	Trigo		Cebada	Arroz	Maíz			Sorgo			Soja	Colza	Girasol	Alfalfa	Algodón	Papa	Caña de azúcar	
	Em-Mac	Enc-Flo	Esp	Mac-Pan	Veg	Flo (*)	Flo(**)	Mac	Veg-Pan	Flo	Veg	Flo	Flo	1° Flo	1° Flo	30 cm	LIT	4 meses Brot
	1, 2, 3, 4		1, 2, 4	1, 2, 5	1, 2, 3, 6, 7	1, 2, 8, 9			1, 2, 3, 10			11	1, 2, 12	1, 3, 13	1, 2, 14	1, 15, 16	2, 17, 18	
	4.0-5.0	1.75-3.3	1.2-1.7	2.6-4.8	3.0-5.0	2.75-3.25	2.7-4.0	1.3-1.5	3.0-4.0	2.5-4.0	3.5-5.5	3.25-5.5	3.0-5.0	3.0-5.0	3.5-4.5	3.0-4.0	¶1.5-2.0	1.9-2.6
	0.2-0.5	0.2-0.5	0.2-0.5	0.1-0.4	0.3-0.8	0.25-0.35	0.20-0.50	0.4-0.8	0.2-0.4	0.2-0.35	0.30-0.60	0.26-0.60	0.3-0.7	0.25-0.70	0.20-0.65	0.25-1.25	0.2-2.0	0.20-0.30
	2.5-5.0	1.5-3.0	1.5-3.0	1.0-3.5	2.0-5.0	1.75-2.25	1.7-3.0	2.5-3.0	2	1.4	1.7-2.5	1.5-2.5	2.0-4.5	2.0-3.5	1.4-3.0	1.5-8.0	8.0	1.0-1.6
	0.15-0.65	0.4	0.15-0.40	0.15-0.30	0.15-0.40	0.15-0.20	0.1-0.6	0.08-0.10	sd	0.15	sd	0.20-0.60	0.3-0.8	0.25-0.50	0.2-0.8	0.1-0.3	0.2	0.25-0.30
	0.2-1.0	0.21-1.4	0.30-1.2	0.2-4.0	0.25-1.6	0.25-0.40	0.2-1.0	0.4-0.6	0.3-0.6	0.3-0.6	1.1-2.2	0.2-2.0	0.8-2.2	1.8-3.0	2.0-4.0	0.15-2.5	0.6	0.2-1.0
	0.14-1.0	0.16-1.0	0.15-0.50	0.15-0.70	0.3-0.8	0.25-0.40	0.15-1.00	0.4-0.6	0.2-0.5	0.2-0.5	sd	0.25-1.00	0.3-1.1	0.25-1.0	0.3-0.9	0.1-1.0	0.3	0.15-32
Macronutrientes, %																		
	1.5-40	5-20	5-10	6-70	5-25	15-20	4-25	20	1-10	1-15	sd	20-60	35-100	20-80	20-80	20-70	20	4-50
	4.5-15	5-50	5-25	7-20	5-25	6-20	5-25	10	2-15	2-12	sd	4-30	10-50	8-40	5-15	4	4-10	
	30-200	21-200	21-200	75-300	30-300	50-250	11-300	200	75-200	50-250	sd	21-350	80-300	50-350	50-400	50	50-500	
	20-150	16-200	25-150	40-800	20-160	50-150	15-200	100	8-100	8-150	sd	20-100	25-600	20-150	40-350	40	12-250	
	0.1-2.0	0.4-5.0	0.1-2.0	0.4-1.0	0.1-2.0	0.15-0.20	0.15-0.20	sd	sd	0.15-0.30	sd	0.5-1.0	0.1-0.3	0.35-1.5	0.2-0.5	sd	0.15-0.30	
	18-70	20-70	15-70	18-50	20-50	15-50	15-100	20	12-100	12-100	sd	15-80	30-140	10-80	20-150	25	16-50	
Micronutrientes, mg kg⁻¹																		

* Hoja opuesta debajo de la espiga.

** Hoja de la espiga. ¶ N de nitratos. Abreviaciones: Em: emergencia, Mac: macollaje, Veg: vegetativo, Enc: encañazón, Flo: floración, Pan: panajamiento, Lit: llenado de tubérculos, sd: sin dato.

1 Los valores de suficiencia de nutrientes se corresponden con los procedimientos de muestreo detallados en la Tabla 2.

Referencias: 1) Jones, 1998; 2) Malavolta et al., 1997; 3) Jones, 1991; 4) Plank y Donahue, 2000; 5) Dobermann y Fairhurst, 2000; 6) Campbell y Plank, 2000b; 7) Voss, 1993; 8) Clark, 1993; 9) Cox y Unruh, 2000; 10) Sabbe et al., 2000; 11) Plank y Tucker, 2000; 12) Merrien et al., 1986; 13) Plank, 2000; 14) Mitchell y Baker, 2000; 15) Ulrich, 1993; 16) Westermann, 1993; 17) Gascho, 2000; 18) Gascho et al., 1993.

nutrientes, sino también para prevenir la sobre-fertilización. Agregar nutrientes (sobre todo móviles como N) como un seguro, cuando la oferta de nutrientes del suelo ya es adecuada para el cultivo, no es solo antieconómico sino que trae aparejado consecuencias ambientales negativas. Por otra parte, el agregado en exceso de un nutriente en particular puede ocasionar ciertos desbalances sobre otros nutrientes en las plantas (Tabla 1).

Consideraciones finales

El análisis vegetal provee información útil, pero no ilimitada. En un contexto de herramientas tecnológicas de precisión para la agricultura, la práctica del análisis de planta puede ser de mucha utilidad a la hora de diagnosticar a nuestros cultivos y sus necesidades, pero es importante tener en cuenta que no reemplaza al análisis de suelo y a otras herramientas, sino que funcionan de manera complementaria. De la misma manera, debe considerarse la necesidad de realizar un muestreo correcto y representativo, tanto de suelo como de planta. Así, el éxito de esta herramienta en nuestros diagnósticos se verá reforzado en la medida que tengamos caracterizadas las propiedades físico-químicas del suelo y diferenciados los ambientes en que producimos, así como también, en la medida que conozcamos y aprovechemos las MPMs de fertilización para corregir deficiencias nutricionales.

Bibliografía

- Aldrich, S.R. 1986. Plant Analysis: Problems and Opportunities. En: Walsh L.M. y J.D. Beaton (Eds.). Soil Testing and Plant Analysis. 6th Ed. SSSAJ. Madison, Wisconsin, USA: 213-222.
- Bates, T.E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: A review. *Soil Science* 112:116-129.
- Beaufils, E.R. 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). *Soil Science Bulletin* No.1. University of Natal. Pietermaritzburg, South Africa.
- Bennett, W.F. 1993. Plant Nutrient Utilization and Diagnostic Plant Symptoms. En: Bennett W.F. 1993. Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plants. 1st Edition. APS Press. Minnesota. USA: 1-7.
- Blackmer, A.M., y A.P. Mallarino. 1996. Cornstalk testing to evaluate nitrogen management. Publ. PM-1584. Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, Iowa, USA. Disponible en: <http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1584.pdf>
- Bruulsema, T., C. Witt, F. García, S. Li, T.N. Rao, F. Chen, y S. Ivanova. 2008. A Global Framework for Fertilizer BMPs. *Better Crops* 92(2):13-15. IPNI. Norcross, GA. USA.
- Campbell, C.R. 2000. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>
- Campbell, C.R., y C.O. Plank. 2000a. Foundation for practical application of plant analysis. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>
- Campbell, C.R., y C.O. Plank. 2000b. Reference sufficiency ranges, field crops: Corn. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>
- Clark, R.B. 1993. Sorghum. En: Bennett W.F. 1993. Plant Nutrient Utilization and Diagnostic Plant Symptoms. En: Bennett W.F. 1993. Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plants. 1st Edition. APS Press. Minnesota. USA: 21-26.
- Cox, F.R., y L. Unruh. 2000. Reference sufficiency ranges, field crops: Grain Sorghum. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>
- Dobermann, A., y T. Fairhurst. 2000. Arroz: Desórdenes nutricionales y manejo de nutrientes. PPI-PPIC-IRRI. 214 p.
- Elwali, A.M.O, G.J. Gascho, y M.E. Sumner. 1985. DRIS norms for 11 nutrients in corn leaves. *Agron. J.* 77 : 506-508.
- Ferrari, M., H. Castellarín, H.R. Saiz Rozas, H.S. Vivas, R.J.M. Melchiori, y V. Gudelj. 2010. Evaluación de métodos de diagnóstico de fertilidad nitrogenada para el cultivo de trigo en la región pampeana. Actas CD-rom. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. El Suelo: Pilar de la agroindustria en la pampa argentina, Rosario, Santa Fe, AACs.
- García, F.O., I.A. Ciampitti, y H.E. Baigorri. 2009. Manual de Manejo del Cultivo de Soja. 1ra. Ed. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 190 pp.
- Gascho, G.J. 2000. Reference sufficiency ranges, field crops: Sugarcane. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>
- Gascho, G.J., D.L. Anderson, y J.E. 1993. Sugarcane. En: Bennett W.F. 1993. Plant Nutrient Utilization and Diagnostic Plant Symptoms. En: Bennett W.F. 1993. Nutrient Deficiencies & Toxicities In Crop Plants. 1st Edition. APS Press. Minnesota. USA: 37-42.
- Hisse, I.R., S.E. Ratto, S. Díaz Valdéz, y M. González. 2011a. Contenido foliar de nutrientes en hojas de maíz RR en diferentes ambientes y con distintas estrategias de fertilización: I. Macroelementos. En: García F.O. y A.A. Correndo (Eds.). La Nutrición de

- Cultivos Integrada al Sistema de Producción. Actas Simposio Fertilidad 2011. 18 y 19 de Mayo de 2011. Rosario, Santa Fe, Argentina. IPNI Cono Sur – Fertilizar AC: 255-258.
- Hisse, I.R., S.E. Ratto, S. Díaz Valdéz, y M. González. 2011b. Contenido foliar de nutrientes en hojas de maíz RR en diferentes ambientes y con distintas estrategias de fertilización: I. Microelementos. En: García F.O. y A.A. Correndo (Eds.). La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de Producción. Actas Simposio Fertilidad 2011. 18 y 19 de Mayo de 2011. Rosario, Santa Fe, Argentina. IPNI Cono Sur – Fertilizar AC: 259-262.
- Jones, Jr. J.B. 1991. Plant Tissue Analysis in Micronutrients. En: Mortvedt J.J. (Ed). SSSA Book Series No. 4: Micronutrients in agriculture. SSSA. Madison. Wisconsin. USA : 477-521.
- Jones, Jr. J.B. 1998. Plant Nutrition Manual. CRC Press. Boca Raton. Florida. USA. 149 pp.
- Landriscini, M.R., J. Galantini, y R. Rosell. 2001. Aplicación de la metodología DRIS al cultivo de trigo en la región semiárida pampeana. *Informaciones Agronómicas* 12:6-11.
- Malavolta, E., G.C. Vitti, y S.A. de Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2da Ed.. rev e atual. POTAFOS. Piracicaba-SP. 319 pp.
- Melgar, R., G. Vitti, y V. de Melo Benites. 2011. Fertilizando para altos rendimientos. Soja en Latinoamérica. *IIP Boletín* No. 20. 179 p.
- Merrien, A., G. Arjaure, y C. Maisonneuve. 1986. Besoins en elements minéraux (majeurs, mineurs et oligo-éléments) chez le tournesol dans les conditions francaises. *Informations Techniques CETIOM* 95:8-19.
- Mitchell, C.C., y W.H. Baker. 2000. Reference sufficiency ranges, field crops: Cotton. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>
- Munson, R.D., y W.L. Nelson. 1986. Principles and Practices in Plant Analysis. En: Walsh L.M. y J.D. Beaton (Eds.). *Soil Testing and Plant Analysis*. 6th Ed. SSSAJ. Madison, Wisconsin, USA: 223-248.
- Plank, C.O. 2000. Reference sufficiency ranges forage and hay crops: Alfalfa. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>
- Plank, C.O., y Tucker M.R. 2000. Reference sufficiency ranges, field crops: Canola. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>
- Plank, C.O., y S.J. Donohue. 2000. Reference sufficiency ranges, field crops: Small Grains. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>
- Ratto de Miguez, S.E., M.C. Lamas, y E. Chamorro. 1991. Análisis foliar en el cultivo de maíz I. *Revista Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires*. 12:23-38.
- Ritchie, S.W., J.J. Hanway, y H.E. Thompson. 1996. Como se desarrolla una planta de maíz. Reporte Especial No. 48. Coop. Ext. Serv. Iowa State University. Ames, Iowa, EE.UU. Traducida al español por IPNI Cono Sur (Octubre 2003).
- Ritchie S., J. Hanway, H. Thompson y O. Garren. 1985. Como se desarrolla una planta de soja. Reporte Especial No. 53. Coop. Ext. Service. Iowa State University. Ames, Iowa, EE.UU. Traducida al español por IPNI Cono Sur (Octubre 2003).
- Sabbe, W.E., G.M. Lessman, y P.F. Bell. 2000. Reference sufficiency ranges, field crops: Soybean. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.gov/agronomi>
- Steenjberg, F. 1954. Weathering of minerals as indicated by plants. *J. Soil Sci.* 5: 205-213.
- Ulrich A. 1993. Potato. En: Bennett W.F. 1993. *Plant Nutrient Utilization and Diagnostic Plant Symptoms*. En: Bennett W.F. 1993. *Nutrient Deficiencies & Toxicities In Crop Plants*. 1st Edition. APS Press. Minnesota. USA: 149-156.
- Ulrich, A., y F.J. Hills. 1967. Principles and practices of plant analysis. In: *Soil testing and plant analysis*. Part II. *Soil Sci. Soc. of Am. Special publication series* No. 2. Madison, WI, USA.
- Valenzuela, O.R., y P.A. Ariño. 2000a. Concentración de nutrimentos en distintas hojas del cultivo de maíz. Actas CD. XVII Congreso Argentino de Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Valenzuela, O.R., y P.A. Ariño. 2000b. Evaluación del estado nutricional del cultivo de maíz a través del diagnóstico foliar. Actas CD. XVII Congreso Argentino de Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Voss, R.D. 1993. Corn. En: Bennett W.F. 1993. *Plant Nutrient Utilization and Diagnostic Plant Symptoms*. En: Bennett W.F. 1993. *Nutrient Deficiencies & Toxicities In Crop Plants*. 1st Edition. APS Press. Minnesota. USA: 11-14.
- Walworth, J.L., y M.E. Sumner. 1987. The Diagnosis and Recommendations Integrated System (DRIS). En: *Advances in Soil Science*, Vol. 6. Stewart B.A. (Ed.). Springer-Verlag. NY, USA: 149-188.
- Westermann, D.T. 1993. Fertility management. En: Rowe R.C. (Ed.). *Potato health management. Plant health management series*. APS Press. Minnesota, USA: 77-86. □

Uso de líneas límite para el diagnóstico de campo y la investigación agrícola - Avances en México

Armando Tasistro*

Introducción

El diagnóstico adecuado de problemas de campo está limitado muy frecuentemente por el sesgo debido a la formación profesional del que diagnostica. Es así que los especialistas en protección vegetal tienden a sobreestimar las limitaciones impuestas por factores relacionados a la sanidad vegetal, mientras que los especialistas en suelos enfatizan los aspectos con los que están más familiarizados. Asimismo, los diagnósticos adolecen comúnmente de un déficit en su sustento cuantitativo, ya que es muy común encontrarse con calificativos subjetivos – tales como “problema grave”, poblaciones “adecuadas” – de interpretación incierta. Es importante considerar, además, que el diagnóstico involucra no sólo la identificación de los problemas sino también su priorización. Estos son aspectos críticos que requieren atención cuidadosa. En este artículo se expone cómo las líneas límite pueden ser usadas para diagnosticar problemas de campo.

Luego que Webb (1972) escribiera sobre el significado biológico de las líneas límite, éstas han sido usadas por numerosos investigadores en una variedad de aplicaciones. Las líneas límite tienen ventajas potenciales (Shatar y McBratney, 2004) tales como: facilitar aplicaciones específicas espacialmente ya que cada punto muestreado en un campo puede ser considerado separadamente; la posibilidad de identificar variables individuales que limitan los rendimientos en cada localidad; y no hay necesidad de un proceso independiente para la selección de variables. Sin embargo, también tienen ciertas limitaciones (Lark, 1997; Shatar y McBratney, 2004) entre las que se incluyen: el ajuste y trazado de las líneas límite puede ser difícil; no proveen evidencias sobre la naturaleza de la

acción conjunta del factor considerado con otros factores; y la dependencia potencial de la posición de la línea límite en relativamente pocos puntos de datos restringe su robustez.

Es importante destacar que además de servir para fines diagnóstico, el establecimiento de las líneas límite provee valiosa información de investigación, cuya obtención por métodos experimentales convencionales sería más complicada o requeriría más tiempo y esfuerzo.

Cómo funciona

Durante las visitas que los asesores hacen a los productores en etapas críticas del cultivo y con los resultados del análisis de muestras de suelo se obtienen datos que se ordenan en planillas de cálculo electrónicas o sistemas para el manejo de datos. Con estos datos es fácil construir gráficas que muestran la relación entre el

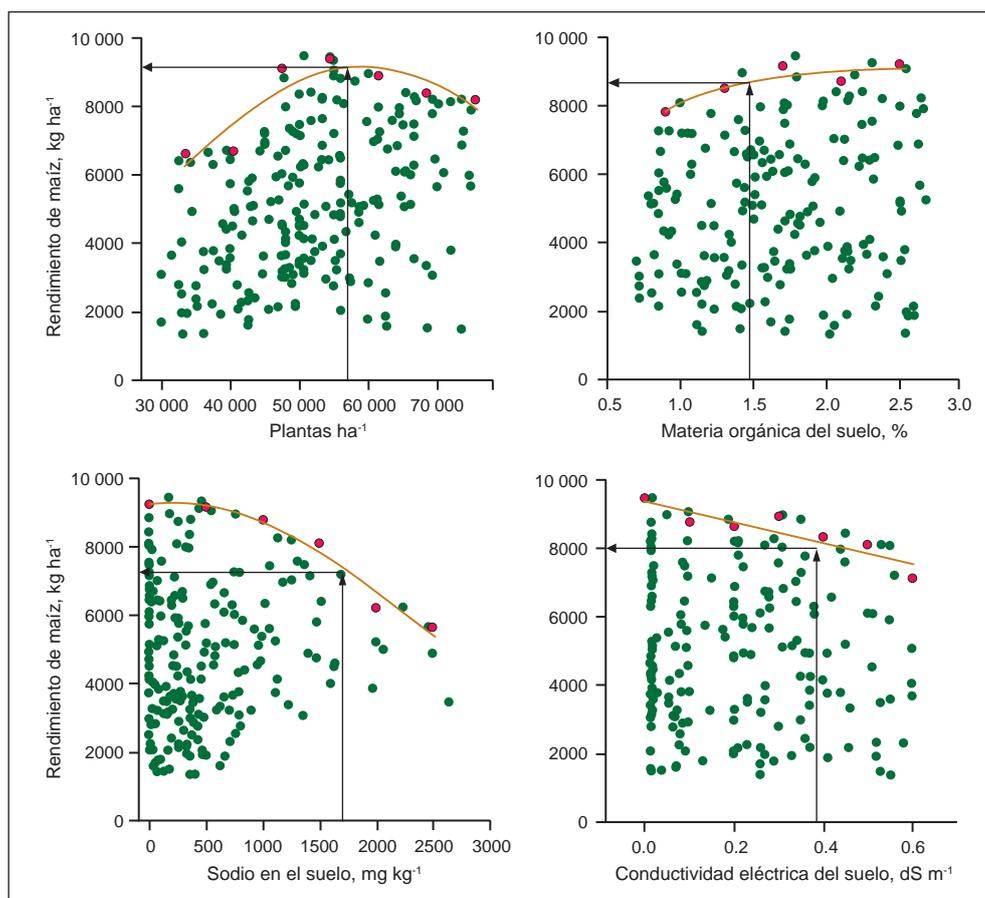


Figura 1. Diagramas de dispersión elaborados con datos ficticios mostrando las relaciones entre el rendimiento de maíz y la población de plantas ha⁻¹ a la cosecha, contenido de materia orgánica del suelo, contenido de Na en el suelo, y conductividad eléctrica del suelo.

* International Plant Nutrition Institute (IPNI). Oficina para México y Centroamérica. Norcross, EE.UU. Correo electrónico: atasistro@ipni.net

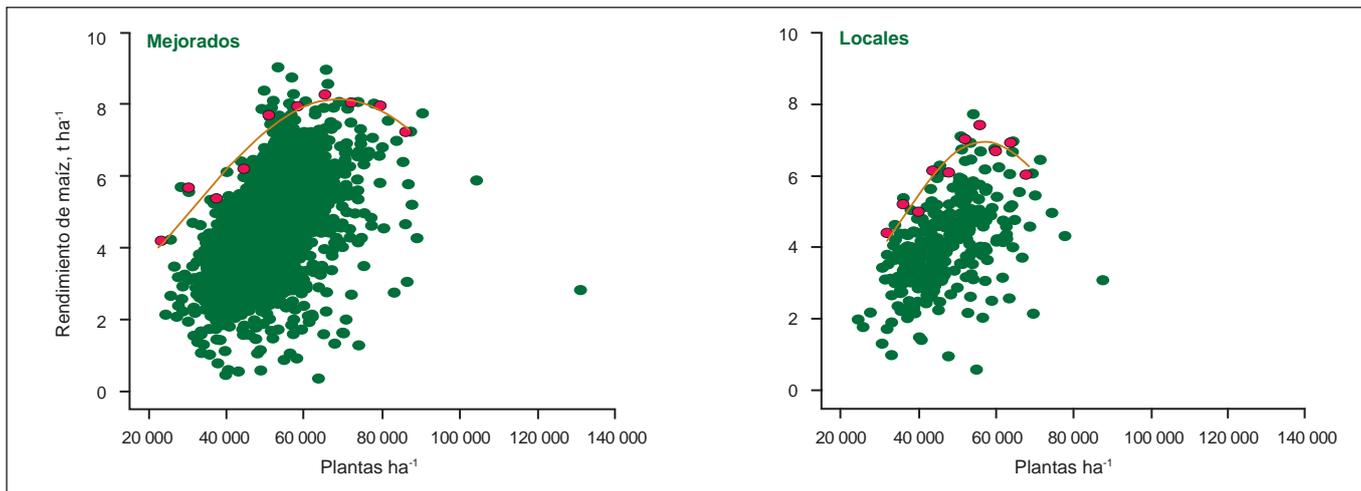


Figura 2. Rendimientos de maíz de genotipos locales y mejorados cultivados bajo el rango de poblaciones observadas en Chiapas, México.

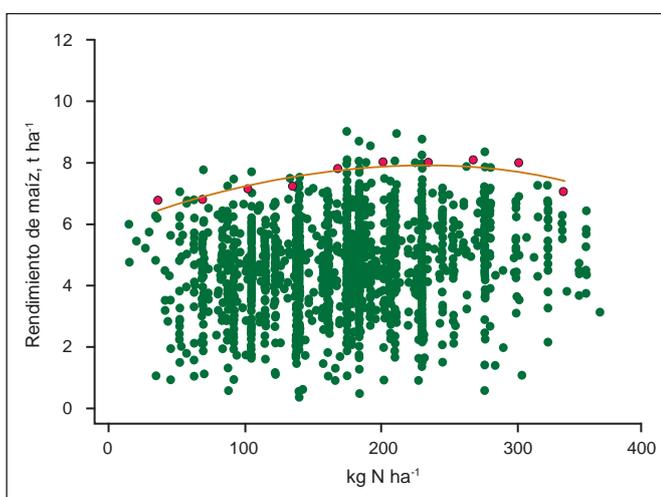


Figura 3. Rendimiento de maíz de genotipos mejorados bajo el rango de aplicaciones de N observadas en Chiapas, México.

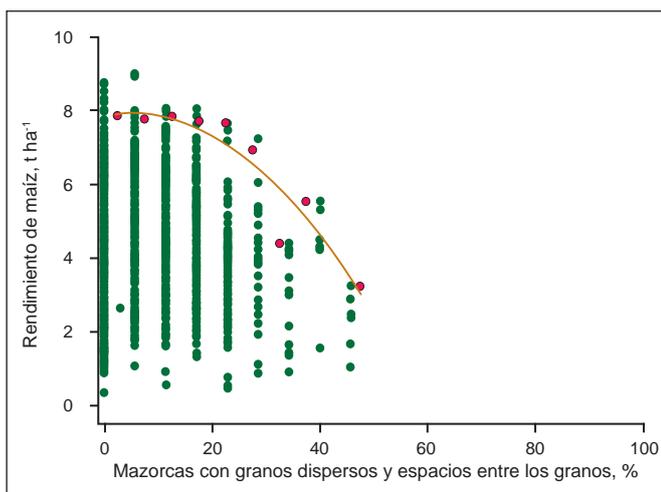


Figura 4. Efecto de granos dispersos y espacios vacíos en las mazorcas sobre el rendimiento de maíz en Chiapas, México.

cuatro variables: plantas ha^{-1} a la cosecha, materia orgánica del suelo (MO), contenido de sodio en el suelo (Na), y conductividad eléctrica (CE) del suelo. Si quisiéramos establecer el orden de importancia en que dichas variables limitan el rendimiento de maíz en un campo que está ubicado en la zona que se muestreó para construir las bases de datos antes referidas, deberíamos evaluar la población de plantas de dicho campo a la cosecha y consultar los resultados de los análisis de suelos para obtener los valores de MO, Na, y CE. Supongamos que los valores de las cuatro variables para el campo que nos interesa son los indicados por las flechas verticales en la **Figura 1**. A través de la línea límite correspondiente, cada valor está asociado con un rendimiento de maíz esperado. Si ordenamos los rendimientos esperados en orden creciente, obtenemos la secuencia $Na < CE < MO < plantas\ ha^{-1}$, lo que sugiere que en este ejemplo con cuatro variables, el contenido de Na en el suelo es el factor más limitante para los rendimientos de maíz.

Es de hacer notar que para los valores determinados de cualquiera de las cuatro variables, hay una gran variación en los rendimientos asociados. Por ejemplo, con una población de aproximadamente 55 000 plantas ha^{-1} , los rendimientos registrados en la base de datos oscilan entre aproximadamente 2000 y 9000 $kg\ ha^{-1}$. Esa variación se explica por la interacción entre la densidad de plantas y otros factores que afectan el comportamiento del cultivo. Quizás los rendimientos fueron bajos porque hubo problemas sanitarios, o falta de agua, o el potencial genético fue bajo. El enfoque basado en las líneas límite no trata de promediar esos efectos, a través de un análisis de regresión común, sino en determinar los rendimientos máximos que se pueden esperar en el rango de los valores observados para las variables.

Además de servir con fines de diagnóstico, los diagramas de la **Figura 1** aportan información sobre la respuesta del maíz a las variables consideradas. Hay que destacar que sería difícil evaluar los efectos de MO, Na, y CE en el suelo sobre los rendimientos de maíz usando los

rendimiento del cultivo y cada variable considerada individualmente. Como ejemplo, los cuatro diagramas de dispersión contruidos con datos ficticios (**Figura 1**) muestran la relación entre el rendimiento de maíz y

métodos tradicionales de investigación que involucran la aplicación de tratamientos experimentales en parcelas de estudio.

Resultados de México

Se ajustaron líneas límite a datos de 1850 predios y resultados de los análisis de 38 muestras de suelos de la región La Fraylesca en el Estado de Chiapas, obtenidos a la cosecha de maíz sembrado en el ciclo primavera-verano. Este muestreo fue llevado a cabo por asesores agrónomos privados como parte de un programa de capacitación sobre diagnóstico de campo. Los cultivos de maíz fueron muestreados siguiendo la metodología de Lafitte (1993): Se marcaron ocho segmentos de surco de 5 m de largo seleccionados al azar, y se tomaron las observaciones en las plantas No. 1, 5, y 10 de cada segmento. Los resultados para cada predio corresponden a la media de los ocho surcos. Las muestras de suelo consistieron de mezclas de sub-muestras de la capa arable (0-25 cm) tomadas en el área de los ocho surcos.

Las líneas límite fueron ajustadas siguiendo a Schmidt et

al. (2000), como se describe a continuación. Se construyeron los diagramas de dispersión entre rendimiento de grano (variable dependiente) y cada variable de interés (variable independiente). El conjunto de datos en cada diagrama de dispersión fue dividido en segmentos equidistantes tomando como referencia a los valores de la variable independiente. Se supuso que todos los datos en cada segmento estaban relacionados con la media aritmética de los valores de la variable independiente en el segmento respectivo. Se ordenaron los datos en cada segmento según los valores de la variable dependiente y se calculó el valor del percentil 99%, el cual fue usado como punto límite. Finalmente se ajustó y trazó la línea correspondiente a los puntos límite.

La mayoría de los productores visitados en Chiapas cultivaron genotipos mejorados, los que rindieron más y tendieron a responder a mayores densidades poblacionales que los genotipos locales (Figura 2). El rendimiento de grano de los genotipos mejorados respondió a la aplicación de nitrógeno (N), con el máximo a los 226 kg ha⁻¹ (Figura 3).

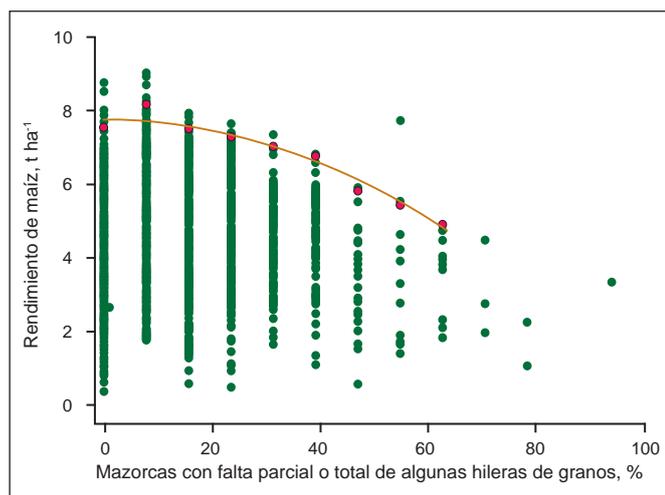


Figura 5. Efecto de la falta parcial o total de algunas hileras de granos en las mazorcas sobre el rendimiento de maíz en Chiapas, México.

Mazorcas con granos dispersos y espacios vacíos entre ellos indican posible daño de insectos a los jilotes, condiciones extremadamente secas, o sequía durante la polinización (Lafitte, 1993). Los datos en la Figura 4 sugieren que la presencia de este síntoma comienza a afectar más marcadamente el rendimiento cuando la incidencia de mazorcas afectadas supera el 20%.

La ausencia parcial o total de hileras de granos puede deberse a varios factores, incluyendo deficiencia de P, poblaciones de plantas excesivamente altas, distribución inadecuada de plantas, o que las mazorcas que muestran el síntoma son las segundas mazorcas en plantas prolíficas (Lafitte, 1993). Bajo las condiciones en que se hizo el muestreo, los rendimientos de maíz parecen ser afectados menos por estos problemas (Figura 5) que por los mostrados en la Figura 4.

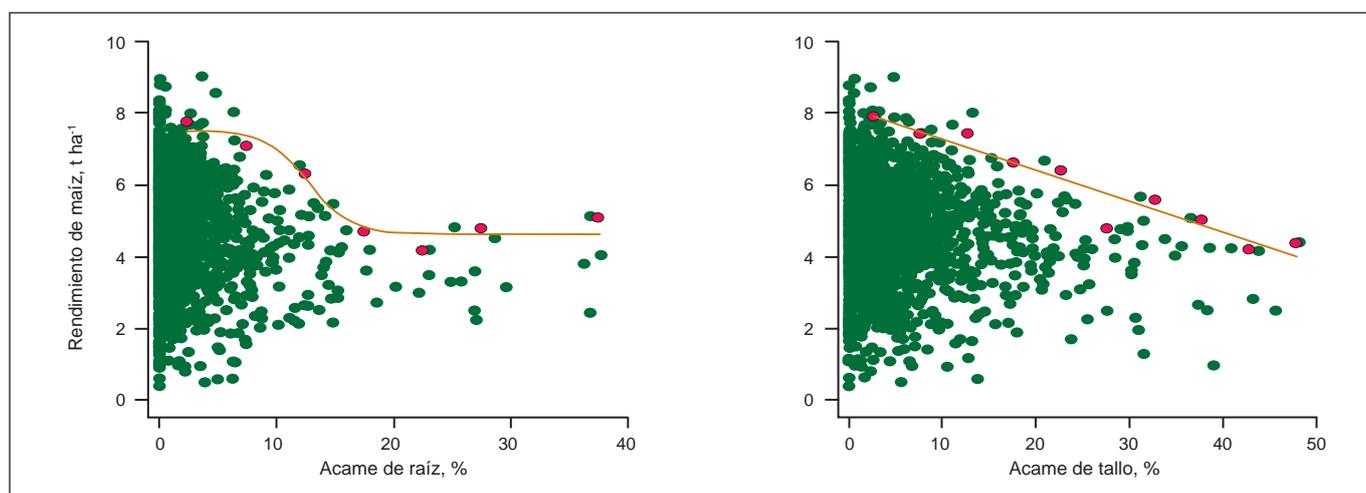


Figura 6. Efectos de acame de raíz y de tallo sobre el rendimiento de maíz en Chiapas, México.

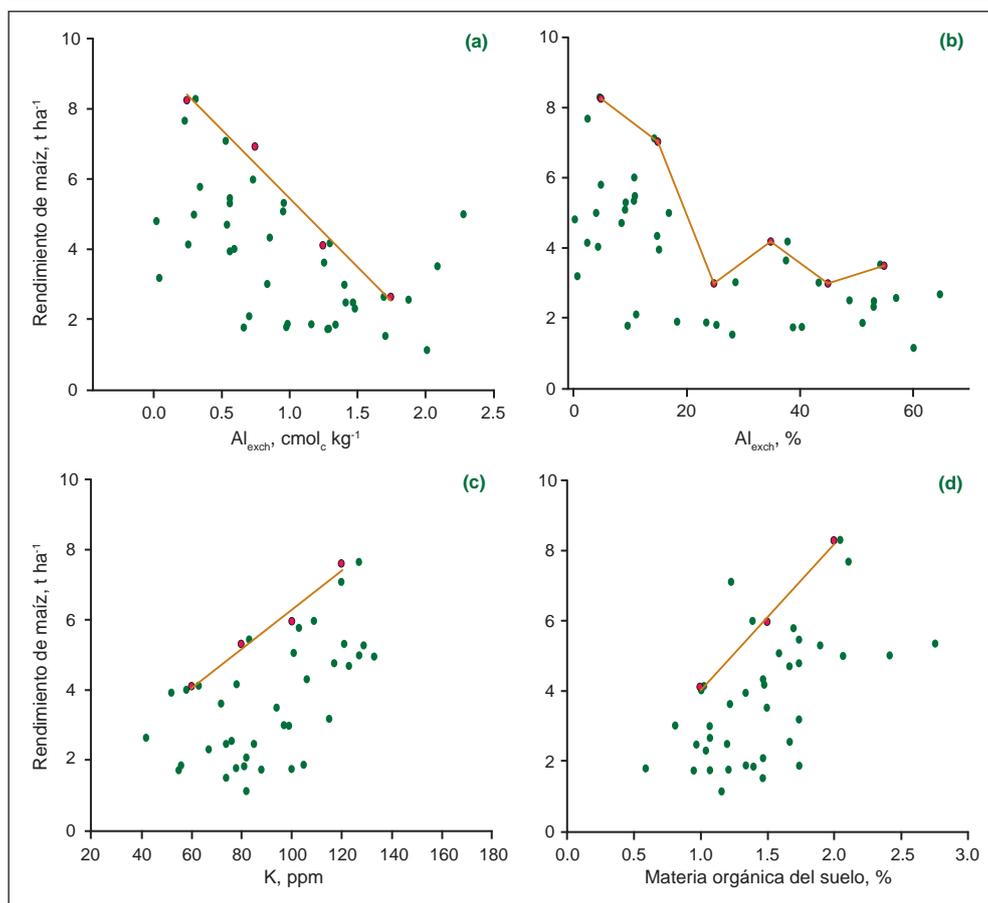


Figura 7. Efectos de Al intercambiable [(a) y (b)], K intercambiable (c), y materia orgánica del suelo (d) sobre el rendimiento de maíz, Chiapas, México.

Las incidencias de acame de tallo o raíz fueron bajas. El acame de tallo pareció afectar a los rendimientos más marcadamente que el acame de raíz (Figura 6), lo que podría estar debido al efecto más drástico de la rotura del tallo sobre el llenado del grano.

La Figura 7 muestra las relaciones entre el rendimiento de grano y algunas de las propiedades analizadas en los suelos. La acidez del suelo es una limitación importante para el maíz en La Fraylesca. La dominancia de suelos arenosos, el clima húmedo, y los antecedentes de aplicaciones continuadas de sulfato de amonio como fuente de N, han contribuido significativamente al desarrollo de ese problema. Como se exhibe en las Figuras 7 (a) y (b), los rendimientos de maíz se reducen 50% cuando la concentración de aluminio (Al) intercambiable excede 1.0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ u ocupa más de 20 a 30% de los sitios de intercambio catiónico. Aunque la concentración de potasio (K) intercambiable en el suelo puede limitar severamente los rendimientos de maíz como se evidencia en los datos de la Figura 7 (c), la fertilización potásica es aún muy limitada entre los productores de la región. Los bajos contenidos de MO en el suelo pueden ser también factores limitantes serios [Figura 7 (d)], lo que refuerza la necesidad de adoptar prácticas de agricultura de conservación y dejar de quemar o quitar todos los residuos del cultivo.

Antes de este trabajo, el conocimiento sobre los efectos de la población de plantas de maíz, dosis de N, u otros componentes del manejo sobre el rendimiento del maíz en La Fraylesca estaba limitado a los resultados de ensayos en parcelas de investigación tradicionales. Dadas las limitaciones de estas últimas en términos de las condiciones agro-ecológicas consideradas, la aplicación de sus resultados había estado limitada siempre por la incertidumbre acerca de la variación entre las condiciones bajo las cuales los resultados fueron obtenidos y aquellas bajo las que serían aplicados. La sistematización de datos obtenidos a través de visitas planeadas o encuestas puede proveer una forma eficiente de información que complemente lo que se aprende a través de parcelas de investigación

convencionales.

El uso creciente de encuestas o levantamientos periódicos así como de herramientas de agricultura de precisión está proveyendo mayores oportunidades para desarrollar bases de datos que pueden ser analizadas mediante las líneas límite.

Referencias

- Lafitte, H.R. 1993. Identifying Production Problems in Tropical Maize: A Field Guide. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Lark, R.M. 1997. An empirical method for describing the joint effects of environmental and other variables on crop yield. *Annals of Applied Biology* 131(1):141-159.
- Schmidt, U., H. Thöni, and M. Kaupenjohann. 2000. Using a boundary line approach to analyze N_2O flux data from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 57:119-129.
- Shatar, T.M., and A.B. McBratney. 2004. Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. *The Journal of Agricultural Science* 142(5):553-560.
- Webb, R.A. 1972. Use of the boundary line in analysis of biological data. *Journal of Horticultural Science* 47:309-319. □

Reporte de Investigación Reciente

Extracción y exportación de nutrientes en variedades de papa. I - macronutrientes

Fernandes, A.M., R.P. Soratto, y B.L. Silva. 2011. Nutrient extraction and exportation by potato cultivars: I - macronutrients. Rev. Bras. Ciênc. Solo 35(6):2039-2056.

La determinación de la cantidad de nutrientes absorbidos durante el ciclo de desarrollo es fundamental para establecer las épocas en que estos elementos son requeridos y las cantidades correctas que deben estar a disposición del cultivo de papa. Sin embargo, casi no hay ninguna información para las principales variedades del Brasil. El objetivo de este estudio fue evaluar la extracción y exportación de nutrientes por parte de papa cultivares Ágata, Asterix, Atlantic, Markies y Mondial. El experimento se llevó a cabo durante la temporada de invierno, en un Oxisol en la localidad de Itaí (SP). Las variedades constituyeron la parcela principal, y las subparcelas las épocas de muestreo (a la siembra y cada siete días después de la emergencia). Los cultivares Asterix y Mondial, más productivos, tuvieron una mayor extracción de macronutrientes, con montos promedio por hectárea de 116 kg N, 18 kg P, 243 kg K, 50 kg de Ca y 13 kg de Mg, mientras que Ágata, Atlantic y Markies extrajeron menos, con valores promedio de 92, 14, 178, 35 y 9 kg ha⁻¹, respectivamente. La mayor demanda de nutrientes por parte de los cultivares se produjo en el llenado inicial de los tubérculos (42-70 DDS). La exportación de macronutrientes no estuvo directamente relacionada con el rendimiento de tubérculo, ya que la variedad más productiva (Mondial) no exportó la mayor cantidad de macronutrientes. El cultivar Asterix exportó mayor cantidad de N, P, K y Mg, con valores de 88, 15, 220 y 8 kg ha⁻¹, respectivamente, mientras que la más baja exportación se observó en el cultivar Atlantic, con 48 kg N ha⁻¹, 10 kg P ha⁻¹, 143 kg K ha⁻¹ y 5 kg Mg ha⁻¹. La variación entre los cultivares en la extracción, especialmente de K y N, indican la necesidad de una gestión diferencial de la fertilización.

Aplicación de residuos alcalinos en la superficie de Cambisoles

Albuquerque, J.A., J.C. Medeiros, A. Costa, y M. Rengel. 2011. Aplicação de resíduo alcalino na superfície de Cambissolos. Bragantia, 70(4):888-898.

La industria de la celulosa produce un gran volumen de residuos, y algunos tienen potencial para mejorar la fertilidad del suelo. Sin embargo, todavía hay falta de información sobre la viabilidad del uso y las dosis que se deben aplicar al suelo. Los objetivos de este estudio fueron evaluar el uso de un residuo alcalino (dregs) como corrector de la acidez y cuantificar los cambios en las características químicas y físicas de dos Cambisoles, uno de textura franco-arcillosa y otro franco arenoso. El experimento en macetas se llevó a cabo en un invernadero con aplicación superficial de dregs en proporción de 0, 12, 35, 50 y 100% de la dosis equivalente de CaCO₃ necesaria para elevar el pH a 6.0. El maíz se cultivó durante 40 días después de la germinación de cuantificar la materia seca de las raíces y de la parte aérea. En suelos no sembrados con maíz, se tomaron muestras para medir la estabilidad de los agregados, la dispersión de arcilla, el pH del

suelo y el contenido de cationes intercambiables. La adición superficial de dregs eleva el pH, los tenores de Ca, Mg y K, y reduce el contenido de Al intercambiable, principalmente en la capa de 0-5 cm. Sin embargo, se observaron efectos nocivos como el aumento en el contenido de Na, la relación Ca:Mg y la dispersión de arcilla. Los cambios en las propiedades químicas del suelo favorecen el crecimiento de raíces y parte aérea del maíz, hasta una dosis equivalente de dregs del 40-47% del requerimiento de cal para elevar el pH en agua a 6.0. Dosis superiores a esta perjudicaron el desarrollo de las plantas.

La producción y el ciclaje de nutrientes por las plantas de cobertura en los cultivos de arroz de tierras altas y de soya

Pacheco, L.P., J.M. Barbosa, W.M. Leandro, P.L. Oliveira de Almeida Machado, R. Lara de Assis, B.E. Madari, y F.A. Petter. 2011. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2011. 35(5):1787-1800.

Las plantas de cobertura en el sistema de siembra directa pueden contribuir a la formación de residuos y al reciclaje de nutrientes para los cultivos en rotación. El objetivo de este estudio fue evaluar la producción de materia seca y el ciclaje de nutrientes por las plantas de cobertura que crecen en temporada baja y su efecto en el rendimiento de arroz de secano y soya sembrados en rotación en siembra directa y siembra convencional, en un suelo Latosollo Vermelho del municipio de Río Verde, Goiás. El estudio se realizó entre abril del 2008 y abril del 2010. Se utilizó un diseño en bandas con un factorial 5x2 con cuatro repeticiones. En las bandas horizontales fueron evaluados dos sistemas de manejo del suelo (siembra directa y el laboreo convencional) y en las bandas verticales, los cultivos de cobertura. Las evaluaciones de la materia seca, la tasa de cobertura del suelo y ciclaje de nutrientes se realizó sólo en los tratamientos de siembra directa, en donde las parcelas se subdividieron en seis períodos de recolección de materia seca tras la desecación de los cultivos de cobertura: 0, 15, 30, 60, 90 y 120 días a partir de la desecación de los cultivos de cobertura, implementando entonces otro factorial 5x6. Las plantas de cobertura sembradas al final de la temporada fueron: *Brachiaria brizantha*, *B. ruziziensis*, *Pennisetum glaucum* y *B. ruziziensis* + *Cajanus* cajan en barbecho. Se evaluó la producción de materia seca, la tasa de cobertura del suelo, la acumulación y liberación de nutrientes por parte de la cubierta vegetal y la productividad del arroz en safra 2008/09 y de soya en la campaña 2009/10, sembradas en rotación. Las especies *B. ruziziensis* y *B. ruziziensis* + *C. cajan* se destacaron en la producción de materia seca, la tasa de cobertura del suelo y la acumulación de nutrientes al final de la temporada. Los nutrientes con mayor acumulación en la materia seca fueron N y K, y las tasas más altas de liberación en el suelo se observaron en los elementos K y P. El mayor rendimiento de arroz en siembra directa se obtuvieron sobre los residuos de *P. glaucum* y *B. ruziziensis*, mientras que el cultivo de soya no mostró diferencias significativas en su productividad en los tratamientos estudiados.

IPNI anunció los ganadores de la edición 2011 del Concurso Fotográfico de Deficiencias Nutricionales de Cultivos

La edición 2011 de este tradicional concurso de IPNI conto con un número record de participantes de diferentes regiones del mundo. La evaluación se realiza según la calidad visual de las imágenes así como la información de apoyo. IPNI felicita a todos los ganadores y su agradecimiento a todos los participantes.

Más información acerca del concurso está disponible en:
<http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/0/2BDFD5B673A6868E06257996005E14E3>

Esperamos contar con su participación en la edición 2012!!



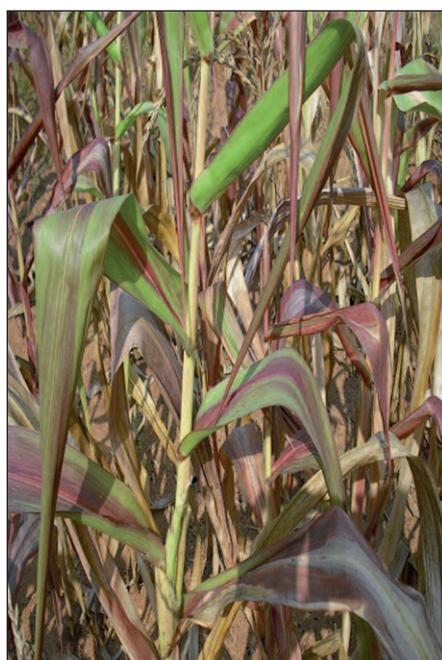
Gran Premio: Deficiencia de boro (B) en palma aceitera; Dr. José Alvaro Cristancho Rodríguez (Cenipalma, Colombia).



Primer Premio Potasio: Deficiencia en palma aceitera; Dr. Jeena Mathew (Kerala, India).



Primer Premio Nitrógeno: Deficiencia en higuerilla; Dr. Prakash Kumar (Rajasthan, India).



Primer Premio Fósforo: Deficiencia en maíz; Dr. Ch Srinivasa Rao (Hyderabad, India).



Primer Premio Otros Nutrientes: Deficiencia de manganeso (Mn) en albahaca; Matthew Stewart (Victoria, Australia).

Cursos y Simposios

1. XIX Congreso Latinoamericano - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : SLCS - AACS
Lugar : Mar del Plata, Argentina
Fecha : Abril 16-20, 2012
Información : SLCS - AACS
slcs2012@congresodesuelos.org.ar
www.congresodesuelos.org.ar

2. I Congreso Internacional de Biotecnología y Biodiversidad y IX Foro Internacional del Banano

Organiza : CIBE - AEBE
Lugar : Guayaquil, Ecuador
Fecha : Mayo 28-31, 2012
Información : CIBE - AEBE
Telf.: (506) 2240 2333
www.cibe.espol.edu.ec/node/54

3. I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental, y I Congreso Nacional de la Sociedad Argentina de Ciencia y Tecnología Ambiental

Organiza : Argentina y Ambiente 2012
Lugar : Buenos Aires, Argentina
Fecha : Mayo 28 - Junio 1, 2012
Información : AA2012
info@aa2012.com.ar
www.aa2012.com.ar/esp

4. IX Seminario Internacional y I Seminario Latinoamericano sobre PGPR: Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal

Organiza : Universidad de Antioquia
Lugar : Medellín, Colombia
Fecha : Junio 3-8, 2012
Información : Universidad de Antioquia
pgpr2012@gmail.com
www.pgpr2012.com

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

Organiza : Asociación de Ingenieros Agrónomos
Lugar : Montevideo, Uruguay
Fecha : Agosto 22-24, 2012
Información : AIA
aia2012@congresos-rohr.com
www.congresos-rohr.com

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

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

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

Organiza : Fedepalma - Cenipalma
Lugar : Cartagena de Indias, Colombia
Fecha : Septiembre 25-28, 2012
Información : Fedepalma - Cenipalma
acampo@fedepalma.org
Telf.: (571) 2 08 6300 - 4 83 7450
www.fedepalma.org

8. XIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo: Suelo y Seguridad Alimentaria

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

9. XXXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo

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

10. XX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

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