

Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica



En este número

- ¿Cómo afectan el P, K y S al crecimiento de leguminosas y la fijación biológica de N?
- Interpretación de análisis de suelos en México
- Contenido proteico en granos de cebada cervecera
- Nutrición de cebada cervecera en Argentina

IAH 14 - Junio 2014

Versión Cono Sur

¿Cómo afectan el fósforo, el potasio y el azufre al crecimiento de las leguminosas y la fijación biológica de nitrógeno? Un meta-análisis	2
¿Por qué hay confusión en la interpretación de los análisis químicos de suelo en México?..	10
Contenido proteico en granos de distinto tamaño en cebada cervecera	14
La nutrición de cebada cervecera en Argentina: Mejores prácticas de manejo de la fertilización	19
Cursos y Simposios	27
Publicaciones Disponibles	27



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE



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

Propietario: International Plant Nutrition Institute (IPNI)

CUIT: 30-70175611-4
ISSN 2222-0178

No. de Registro de Propiedad Intelectual: 5118852

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

Impresión: Grancharoff Impresores
Tapalqué 5864 - Capital Federal

<http://www.ipni.net>

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>

¿Cómo afectan el fósforo, el potasio y el azufre al crecimiento de las leguminosas y la fijación biológica de nitrógeno? Un meta-análisis*

Gillermo A. Divito^{1,2} y Víctor O. Sadras³

Introducción

Las leguminosas se cultivan en aproximadamente 250 M ha en el mundo, con el fin principal de obtener granos y forrajes. En este marco, las mismas metabolizan unos 90 Tg (1 Tg = 10^{12} g) de N_2 por año mediante el proceso de fijación biológica de nitrógeno (FBN) (Kinzig y Socolow, 1994), el cual les ofrece una serie de ventajas que incluyen la disponibilidad de nitrógeno (N) en condiciones donde el suelo no es capaz de satisfacer la demanda y una alta eficiencia en el uso del nutriente. Además, la FBN ofrece ventajas al sistema, puesto que el N presente en los residuos de los cultivos, ingresa al suelo y puede ser aprovechado por los organismos que en él habitan (Graham y Vance, 2000). Sin embargo, este proceso es muy sensible a distintos tipos de estreses ambientales, como la deficiencia de otros nutrientes.

El fósforo (P) es, luego del N, el nutriente que en mayor medida limita el crecimiento de los cultivos (Vance et al., 2000). Aproximadamente un 40% de las tierras cultivables presentan deficiencias del nutriente, por lo que el estudio de la respuesta de las leguminosas y rizobios a su oferta ha sido muy estudiado (Almeida et al., 2000; Høgh-Jensen et al., 2002; Olivera et al., 2004; Schulze et al., 2006). En menor medida, se han realizado investigaciones de la respuesta de leguminosas ante distinta disponibilidad de potasio (K), que también presenta deficiencias en numerosos ambientes (Römheld y Kirkby, 2010). Finalmente, el efecto de la disponibilidad de azufre (S) sobre la FBN ha sido menos estudiado, debido a que la deficiencia han adquirido importancia reciente a nivel mundial (Scherer, 2001).

Las leguminosas que obtienen parte del N a partir de la FBN presentan mayores requerimientos de P, K y S, respecto de plantas que sólo lo absorben de la solución del suelo (Israel, 1987; Sulieman et al., 2013). Estos nutrientes pueden afectar la FBN directamente, modulando la formación, el crecimiento y la actividad de los nódulos, (Duke et al., 1980; Pacyna et al., 2006) o indirectamente, afectando el crecimiento de la planta huésped (Duke et al., 1980; Almeida et al., 2000; Varin et al., 2010). Entre los efectos directos, puede mencionarse que la disponibilidad de P es crítica para la actividad de los nódulos debido al elevado requerimiento de ATP para el funcionamiento de la enzima nitrogenasa (Ribet y Drevon, 1995). También tiene un rol importante en la biosíntesis de membranas, transmisión de señales y el desarrollo general del nódulo (Al-Niemi et al., 1997). De manera similar, Duke et al. (1980) demostraron un efecto directo del K en la FBN, dado que incrementa el crecimiento de los nódulos, la actividad enzimática, el suministro de C y la transducción energética.

En el caso de S, Varin et al. (2010) mostraron una estrecha relación entre la disponibilidad de S y el contenido de las enzimas nitrogenasa y leghemoglobina en nódulos. En este sentido, Scherer et al. (2008) determinaron que la deficiencia de S redujo la FBN en arveja (*Pisum sativum* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.), como consecuencia de una disminución en la concentración de ferredoxina y leghemoglobina en nódulos, sumado a una reducción del aporte de ATP.

A pesar del efecto directo del P, K y S sobre la FBN, varios autores coinciden que estos nutrientes condicionan principalmente el crecimiento de la planta huésped y ésta regula en consecuencia el proceso de FBN (Almeida et al., 2000; Høgh-Jensen, 2003; Varin et al., 2010). Así, cuando la deficiencia de un nutriente reduce el crecimiento de la planta, se desencadena un mecanismo de *feedback* negativo que deprime el desarrollo y la actividad de los nódulos. Este mecanismo sería similar al que opera también con otros tipos de estrés, como sequía, salinidad, metales tóxicos o patógenos (Lea et al., 2007).

El estudio del efecto de la disponibilidad de P, K y S en el crecimiento de las leguminosas y en la FBN es entonces relevante desde una óptica biológica y agronómica, y se han identificado diversos efectos directos e indirectos. Sin embargo, varios procesos permanecen aún sin comprender o no se han hecho intentos por compilar la información fragmentada de la que se dispone. Así, se compiló un conjunto de datos del efecto de la deficiencia de estos nutrientes en el crecimiento de la biomasa aérea, masa y número de nódulos, actividad de la enzima nitrogenasa, y la concentración de N, P, K y S en tallos y nódulos. Los objetivos del presente trabajo fueron: i) comparar la sensibilidad relativa de estas variables a la deficiencia de los nutrientes, y ii) determinar si existen patrones específicos para cada nutriente en la respuesta de las variables estudiadas.

Materiales y métodos

Fuente de datos

Se compilaron datos buscando trabajos en *Web of Knowledge*SM (Thomson Reuters, 2013) con las palabras "nitrogen fixation + phosphorus / potassium / sulphur" y formatos alternativos. Se incluyeron experiencias de campo y en condiciones controladas. Se excluyeron estudios con especies no cultivadas, donde las leguminosas no fueron inoculadas con rizobios específicos, donde el efecto de los nutrientes se confundió con otra fuente de variación experimental, donde el aporte de N pudo haber distorsionado la interpretación de los resultados,

¹ Facultad de Ciencia Agrarias UNMdP. Argentina. Correo electrónico: guillermodivito@yahoo.com.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

³ South Australian Research & Development Institute and The University of Adelaide, Australia.

* Adaptado del artículo originalmente publicado en *Field Crops Research*, 156:161-171.

o donde la dosis de P, K o S se reportó como tóxica para las plantas o la FBN. Se examinaron 124 trabajos y la base de datos que satisfizo los criterios de inclusión consistió en 36 experimentos en P, 15 experimentos en K y 12 experimentos en S (ver tabla con los trabajos en Divito y Sadras, 2014). Se evaluó el efecto de los nutrientes en variables relevantes para el crecimiento y desarrollo de la planta, los rizobios y la FBN, que incluyeron biomasa aérea de la leguminosa, biomasa y número de nódulos, actividad de la enzima nitrogenasa (determinada por la metodología de la reducción de acetileno, ARA) y la concentración de N, P, K y S en biomasa aérea, raíces y nódulos.

Análisis estadístico

Todas las variables fueron normalizadas como el cociente entre el valor que adquirió dicha variable para una dosis de nutriente determinada y el valor que adquirió cuando recibió la dosis máxima para el experimento. Si existieron fuentes de variación secundarias (ejemplo, humedad del suelo), dicho cociente se calculó para cada nivel de la variable secundaria. Los cocientes fueron transformados al logaritmo natural antes del análisis, aunque en las figuras se presenta la información sin transformar para una mejor interpretación de los resultados.

Se realizaron comparaciones apareadas entre dos variables para determinar su sensibilidad relativa ante la deficiencia de los nutrientes. La hipótesis nula fue que ambas variables del par (por ejemplo: masa de nódulos versus número de nódulos) responden en la misma magnitud a la deficiencia nutricional. Gráficamente, la hipótesis nula se representa con los datos alineados sobre la recta $y = x$. Se calcularon los desvíos de dichos datos de la recta $y = x$ y se realizó una prueba t ($P < 0.05$) para determinar si éstos se apartan de la recta $y = x$. Cuando los desvíos se apartan significativamente de dicha recta y presentan signo positivo indican que la variable graficada en el eje "y" responde en menor magnitud que la variable del eje "x". Contrariamente desvíos negativos indican que la variable del eje "y" es más sensible a la deficiencia que la variable del eje "x". Para probar si existen patrones específicos en la respuesta de las variables a P, K y S se realizaron pruebas F comparando los desvíos determinados para cada nutriente. Cuando las pruebas F fueron significativas se realizó una comparación de medias (DSM; $P < 0.05$). Ver más información referida a métodos empleados en la publicación original (Divito y Sadras, 2014).

Resultados y discusión

Crecimiento de la biomasa aérea y nódulos

La masa de nódulos resultó mas sensible a la deficiencia de P, K y S que la biomasa aérea,

dado que los puntos de la **Figura 1** se disponen, en su mayoría, debajo de la recta $y = x$. El patrón resultó similar para los tres nutrientes. Para P y S hipotetizamos que la mayor sensibilidad se debe a la mayor concentración de los nutrientes en nódulos respecto de la biomasa aérea (**Tabla 1**), que podría dar indicios de un mayor requerimiento para mantener la tasa de crecimiento. Qiao et al. (2007) aportan evidencia para esta hipótesis, dado que determinaron que la concentración crítica de P para el crecimiento de nódulos fue $5 \text{ mg P g}^{-1} \text{ MS}$ comparado con $1.5 \text{ mg P g}^{-1} \text{ MS}$ para el máximo crecimiento de la biomasa aérea de soja (*Glycine max* L. Merr.). Umbrales similares fueron propuestos por Schulze et al. (2006) para lupino (*Lupinus albus*), quienes determinaron valores entre 1.1 y 3.1 $\text{mg P g}^{-1} \text{ MS}$ para biomasa aérea, y entre 3.3 y 6.5 $\text{mg P g}^{-1} \text{ MS}$ para nódulos. Contrariamente, no han sido propuestos valores críticos para K y S. Un aspecto de interés es que la concentración de K es menor en los nódulos que en la biomasa aérea (**Tabla 1**), por lo que la mayor sensibilidad que presenta el crecimiento de los nódulos podría estar relacionada a causas diferentes que las propuestas para P y S.

Tabla 1. Resumen de la concentración de nutrientes (%) en biomasa aérea, raíces y nódulos ante distintas ofertas de P, K y S.

Variable	n	Percentil				
		5	25	50	75	95
Fósforo						
N en biomasa aérea	165	1.19	1.85	2.87	2.87	4.64
N en raíces	92	0.90	1.40	1.70	2.42	3.14
N en nódulos	74	4.11	5.20	6.20	7.32	9.58
P en biomasa aérea	233	0.07	0.13	0.22	0.32	0.49
P en raíces	85	0.06	0.12	0.17	1.00	1.61
P en nódulos	133	0.21	0.34	0.40	0.48	1.81
Potasio						
N en biomasa aérea	171	2.90	3.50	3.89	4.33	7.09
N en raíces	5	c	2.42	3.78	4.02	-
N en nódulos	3	-	6.11	6.38	6.40	-
K en biomasa aérea	164	0.46	0.84	1.71	2.21	3.26
K en raíces	9	-	0.78	1.96	3.80	-
K en nódulos	3	-	0.49	1.12	1.48	-
Azufre						
N en biomasa aérea	314	1.97	2.55	3.01	3.40	4.00
N en raíces	11	-	1.95	2.31	2.80	-
N en nódulos	9	-	3.63	5.03	5.67	-
S en biomasa aérea	309	0.08	0.11	0.16	0.22	0.29
S en raíces	31	0.03	0.05	0.14	0.35	1.06
S en nódulos	19	0.09	0.21	0.25	0.37	0.60

c no calculado debido al bajo número de datos.

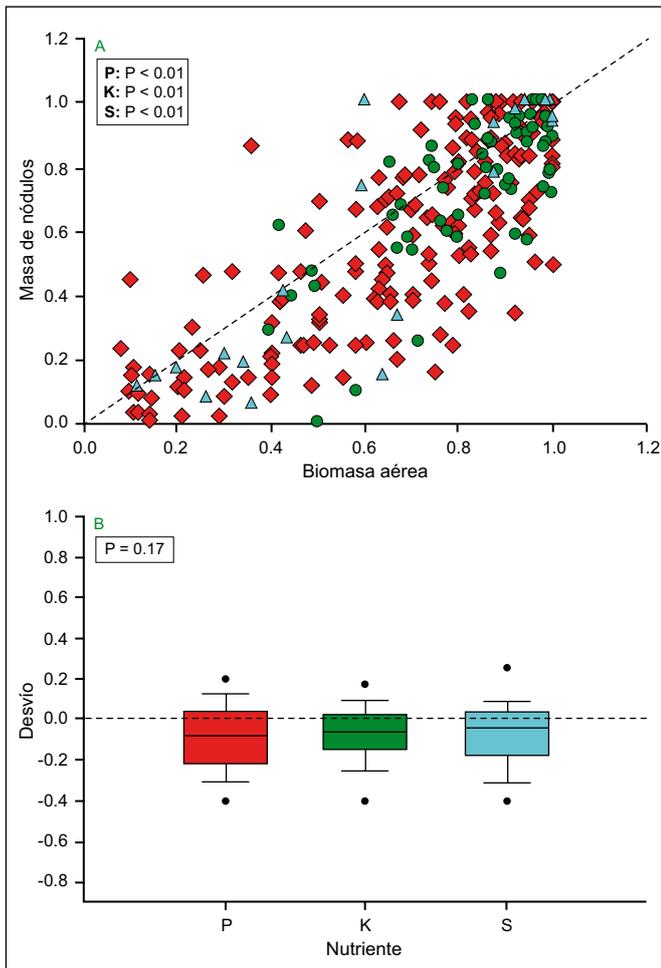


Figura 1. (A) Comparación de la masa relativa de nódulos con la biomasa aérea relativa para leguminosas creciendo con distinta oferta de P (diamantes; $n = 264$), K (círculos; $n = 86$) y S (triángulos; $n = 38$). La línea punteada representa $y = x$. **(B)** Frecuencia de distribución de los desvíos de $y = x$ en respuesta a la deficiencia de P, K y S. Las líneas de las cajas son los percentiles 0.25; 0.50 y 0.75; los bigotes son los percentiles 0.10 y 0.90, y los puntos son los percentiles 0.05 y 0.95. P indica: en A, la significancia de la desviación de las observaciones de la recta $y = x$ para cada nutriente; y en B la significancia de las diferencias de los desvíos entre P, K y S.

Nuestro análisis de información proveniente de varios estudios indica que la masa de nódulos es más sensible que la biomasa aérea a la deficiencia de P, K y S (**Figura 1**), pero los reportes del efecto de los nutrientes sobre el número de nódulos son variados, especialmente para P. Así, se ha determinado que la deficiencia de dicho nutriente incrementa (Schulze et al., 2006), disminuye (Pereira y Bliss, 1989), o no tiene efecto (Drevon y Hartwig, 1997) sobre el número de nódulos relativo a la biomasa aérea. Sin embargo, se acepta que las plantas deficientes en P tienden a desarrollar nódulos de menor tamaño. Ribet y Drevon (1995) propusieron que esta estrategia incrementa la relación superficie/volumen, facilitando así la difusión de O_2 hacia el nódulo, crítica para la FBN (Layzell et al., 1990). La **Figura 2** apoya esta hipótesis, dado que el número de nódulos decrece en menor proporción que la masa total de nódulos bajo deficiencia de P. En contraste, el número y la masa de

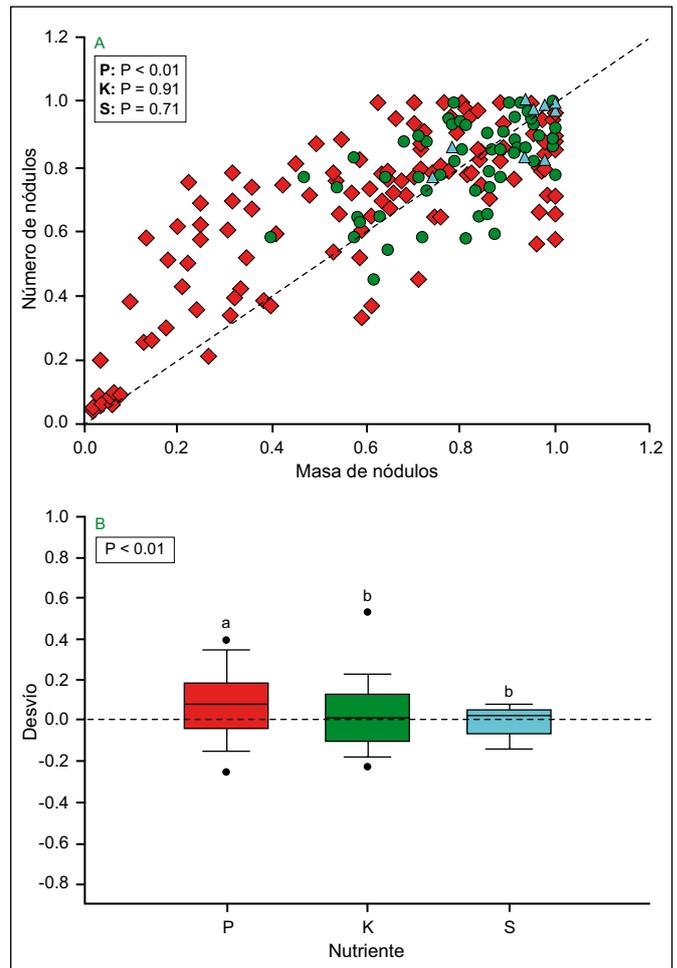


Figura 2. (A) Comparación del número con la masa relativa de nódulos para leguminosas creciendo con distinta oferta de P (diamantes; $n = 163$), K (círculos; $n = 82$) y S (triángulos; $n = 12$). La línea punteada representa $y = x$. **(B)** Frecuencia de distribución de los desvíos de $y = x$ en respuesta a la deficiencia de P, K y S. Las líneas de las cajas son los percentiles 0.25; 0.50 y 0.75; los bigotes son los percentiles 0.10 y 0.90, y los puntos son los percentiles 0.05 y 0.95. P indica: en A, la significancia de la desviación de las observaciones de la recta $y = x$ para cada nutriente; y en B, la significancia de las diferencias de los desvíos entre P, K y S.

nódulos presentan igual sensibilidad a la deficiencia de K y S (**Figura 2**). La conclusión para K es robusta, puesto que se basa en un gran número de observaciones ($n = 82$), pero para S debe ser considerada con precaución dado que se basa en pocas determinaciones ($n = 12$).

Fijación biológica de nitrógeno

La FBN se mostró más sensible a la deficiencia de P y K que la biomasa aérea (**Figuras 3A y 3B**) y que la masa de nódulos (**Figuras 3C y 3D**) dado que la mayoría de los puntos de las gráficas se dispusieron debajo de la recta $y = x$. El reducido número de observaciones ($n = 3$) impidió el mismo análisis para S. Las reducciones en la FBN en respuesta a la deficiencia de P y K pueden obedecer a una menor nodulación, una menor productividad de los nódulos (moles de N_2 fijados por unidad de tiempo por unidad de masa de nódulos) o ambas (Duke y Collins, 1985). Pocos estudios se han centrado en los procesos

metabólicos y fisiológicos involucrados. Sa e Israel (1991) realizaron un análisis detallado del estado energético de los nódulos de soja expuestos a distintas ofertas de P y concluyeron que la reducción en la actividad de la enzima nitrogenasa en condiciones de deficiencia de P se relacionó con la inhibición de reacciones dependientes del ATP en las células vegetales, aunque no en las células de los nódulos. Estos autores reportaron también que no existió relación entre los cambios en el ARA producto de la oferta de P y la masa de bacteroides por unidad de biomasa de nódulos.

Por su parte, algunos autores han demostrado un efecto directo del K en la activación de la enzima nitrogenasa (Duke et al., 1980; Lynd et al., 1981). Duke et al. (1980) determinaron que es necesario un adecuado nivel de K para mantener altas tasas de ARA y la productividad de los nódulos ya que dicho nutriente incide directamente sobre la actividad de enzimas de asimilación de N, suministro de C al nódulo y transducción energética.

Adicionalmente, estudios bioquímicos e inmunológicos muestran una estrecha relación entre el aporte de S y el contenido de proteínas en nódulos, particularmente de nitrogenasa y leghemoglobina (Varin et al., 2010),

ambas de fundamental rol en la FBN. Además, Scherer et al. (2008) determinaron que, bajo condiciones de deficiencia de S, la FBN se redujo en arveja y alfalfa como consecuencia de una disminución en la concentración de ferredoxina, leghemoglobina, y en el aporte de ATP.

Por otra parte, la disminución de la proporción de N derivado de la FBN en respuesta a la deficiencia de P (Cadish et al., 1993; Almeida et al., 2000), K (Fajri., 2006) y S (Scherer y Lange, 1996), podría reflejar un efecto directo de la deficiencia de estos nutrientes sobre la FBN, indicando que el proceso es más sensible que la demanda de N por parte de la planta.

En conjunto, el análisis de la **Figura 3** sirve para resolver algunas controversias planteadas en la literatura respecto de la productividad de los nódulos, definida como la FBN en relación a la masa total de nódulos. Almeida et al. (2000) reportaron incrementos en la FBN específica (g N_2 fijados g nódulo^{-1}) en trébol blanco (*Trifolium repens* L.) bajo deficiencias de P. Para la misma especie, Høgh-Jensen et al. (2002) reportaron que la actividad específica de la nitrogenasa disminuyó bajo deficiencia de P cuando ésta se expresó como N_2 fijado por unidad de peso fresco de raíz, pero aumentó cuando se expresó

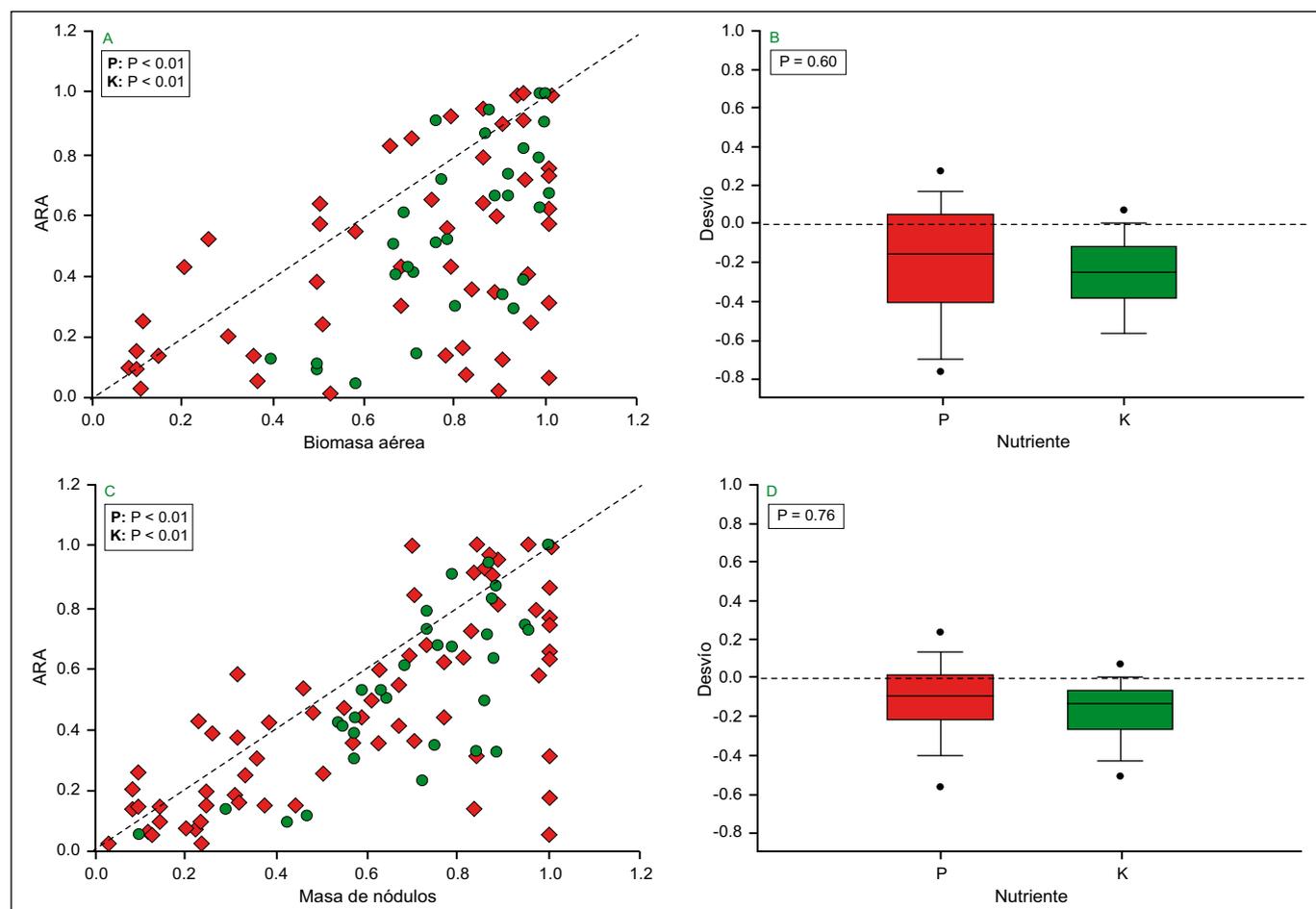


Figura 3. (A) Comparación de la reducción de acetileno (ARA) relativa con (A) la biomasa aérea y (C) la masa total de nódulos relativa para leguminosas creciendo con distinta oferta de P [diamantes; n = 65 (A) y 91 (C)] y K [círculos; n = 37 (A) y 43 (C)]. La línea punteada representa $y = x$. (B) Frecuencia de distribución de los desvíos de $y = x$ en respuesta a la deficiencia de P y K. Las líneas de las cajas son los percentiles 0.25; 0.50 y 0.75; los bigotes son los percentiles 0.10 y 0.90, y los puntos son los percentiles 0.05 y 0.95. P indica: en A y C, la significancia de la desviación de las observaciones de la recta $y = x$ para cada nutriente; y en B y D, la significancia de las diferencias de los desvíos entre P y K.

por unidad de peso de nódulos. Por su parte, Sangakkara et al. (1996) determinaron que *Vicia faba* y *Phaseolus vulgaris* mantuvieron la FBN específica cuando las plantas crecieron bajo distinta oferta de K y concluyeron que el nutriente afecta en mayor medida la nodulación que la actividad de los nódulos. Varin et al. (2010) reportaron una reducción del 81% en el N fijado por plantas de trébol blanco en soluciones sin S en comparación con aquellas que crecieron en condiciones de suficiencia del nutriente. En este experimento en particular, la deficiencia de S inhibió la nodulación en una magnitud superior a la FBN, lo que indica que se produjeron incrementos en la FBN específica. Nuestro análisis confirma que la deficiencia de P, K y S disminuye la productividad de los nódulos. Sin embargo, sería posible determinar efectos neutrales o positivos en experiencias particulares dependiendo de la interacción entre el tipo de planta, la severidad del estrés nutricional y la relación entre la demanda de N y la masa de nódulos.

Concentración de nutrientes en nódulos

La concentración de P y S en la biomasa aérea es más sensible que la concentración en nódulos [ver Divito y Sadras (2014)]. El patrón fue diferente para ambos nutrientes, aunque esta conclusión podría estar afectada por la poca cantidad de datos disponibles para S (n = 7). Solo un trabajo presentó información referida a la concentración de K en nódulos y biomasa aérea (Høgh-Jensen et al., 2003) lo que impidió incluir a dicho nutriente en el análisis (n = 3).

Almeida et al. (2000) reportaron que la concentración de P en nódulos fue mucho menos sensible a la deficiencia de P que la concentración del nutriente en la biomasa aérea. Si estas diferencias se deben a una partición diferencial del P hacia los nódulos o a la absorción directa del nutriente por los nódulos no está aún resuelto, pero Al-Niemi et al. (1998) sugieren que los nódulos lo absorben directamente desde la solución del suelo. Israel (1993) reportó que luego de aliviar una condición de estrés de P, las plantas importaron el nutriente preferentemente hacia los nódulos, apoyando el concepto de que éstos actúan como destinos prioritarios de P. Este mecanismo explica que los nódulos mantengan una alta concentración de P aun cuando la concentración externa del nutriente se modifique. En este sentido, Almeida et al. (2000) concluyeron que resulta poco probable que la concentración de P en el nódulo limite directamente el crecimiento y funcionamiento debido a la estabilidad que se observa en la concentración del nutriente.

¿Las plantas deficientes en P, K y S presentan deficiencias de N?

Una de las cuestiones principales respecto del efecto de la deficiencia de P, K y S es si la menor nodulación y FBN se relaciona con procesos de *feedback* debidos al menor crecimiento de la planta y la consecuente acumulación de N. Para responder a ello, es importante determinar el estatus nitrogenado de las plantas ante deficiencias

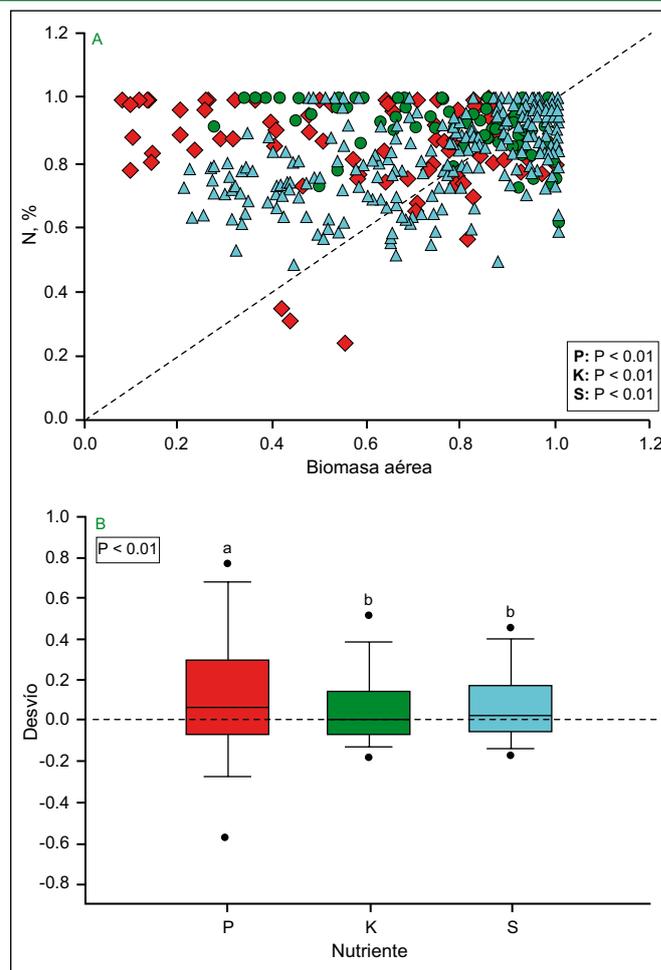


Figura 4. (A) Comparación de la concentración relativa de N en la biomasa aérea con la biomasa aérea relativa para leguminosas creciendo con distinta oferta de P (diamantes; n = 145), K (círculos; n = 156) y S (triángulos; n = 314). La línea punteada es $y = x$. (B) Frecuencia de distribución de los desvíos de $y = x$ en respuesta a la deficiencia de P, K y S. Las líneas de las cajas son los percentiles 0.25; 0.50 y 0.75; los bigotes son los percentiles 0.10 y 0.90, y los puntos son los percentiles 0.05 y 0.95. P indica: en A, la significancia de la desviación de las observaciones de la recta $y = x$ para cada nutriente; y en B la significancia de las diferencias de los desvíos entre P, K y S.

de dichos nutrientes. La **Figura 4** muestra que la concentración de N en la biomasa aérea se mantiene relativamente elevada en la medida que el crecimiento se ve restringido por la deficiencia nutricional, dado que la mayor parte de los puntos se disponen por encima de la línea $y = x$. Este patrón resulta más pronunciado para P que para K y S (**Figura 4B**). Al analizar que sucede con la concentración de N respecto de la de los otros nutrientes se observa un patrón similar al anterior [ver Divito y Sadras (2014)], donde el N disminuye en una menor proporción que P, K y S. Como consecuencia, las relaciones N/K, N/P y N/S aumentaron en la medida que la deficiencia nutricional fue más marcada.

Estos resultados son coincidentes con varios trabajos que reportan acumulación de distintos compuestos nitrogenados, entre ellos amonio, urea, aminoácidos y

amidas bajo condiciones de estrés nutricional (DeBoer y Duke, 1982). Almeida et al. (2000) y Høgh-Jensen et al. (2002) reportaron una mayor concentración de asparagina en plantas de trébol deficientes. Varin et al. (2010) propusieron un mecanismo similar para la respuesta a la deficiencia de S, postulando que la menor FBN de plantas bajo estrés podría ser el resultado de un *feedback* negativo desencadenado por el incremento en la concentración de N y asparagina en hojas y estolones, que reprime el desarrollo de los nódulos y la producción de las enzimas nitrogenasa y leghemoglobina. Así, la asparagina se menciona como uno de los principales candidatos que regulan los procesos de asimilación de N, aunque otros compuestos pueden estar involucrados (Parson, 1997; Schulze, 2004).

Efecto de la deficiencia nutricional sobre el aporte de C a los nódulos

Schulze (2004) propuso tres mecanismos que regulan la FBN en leguminosas: 1) la regulación a través de la provisión de carbono (C), donde la FBN está regulada por el aporte de asimilados hacia los nódulos o por la metabolización de compuestos carbonados para que puedan ser usados por los bacteroides; 2) la regulación a través de la provisión de O₂, que supone que la difusión de dicha molécula hacia el interior de los nódulos actúa como un factor regulador; y 3) el mecanismo de *feedback* negativo donde interviene el N, al que se hizo referencia anteriormente.

En este sentido, algunos autores sugieren que la disminución en la actividad fotosintética de la planta en respuesta a la deficiencia de P, K y S puede ocasionar descensos en el aporte de carbohidratos a los nódulos (Mengel et al., 1974; Sa e Israel, 1991 y 1998; Sherer et al., 2006). Evidencias a favor de estas hipótesis fueron aportadas por Jakobsen (1985) y Sa e Israel (1991); mientras que Almeida et al. (2000) concluyeron que esta teoría no explicaría la respuesta de las leguminosas a la deficiencia de P. Así, dichos autores reportaron que la deficiencia de P disminuyó la actividad de la enzima Rubisco y la fotosíntesis, pero que la concentración de almidón en hojas aumentó, lo que indica que la fotosíntesis estuvo limitada por destinos.

Por otra parte, varios estudios sustentan la teoría de que el aporte de C regularía la FBN bajo distintas ofertas de K (Mengel et al., 1974; Premaratne y Oertli, 1994). Sin embargo, trabajos recientes realizados por Høgh-Jensen (2003) informaron que la relación entre la fijación de CO₂ por la planta y la de N₂ por las bacterias aumentó bajo deficiencia de K. Esto llevó al autor a concluir que la fotosíntesis no sería limitante para el proceso de FBN. Por otra parte, Scherer et al. (2006) determinaron que el nivel de glucosa y sacarosa en plantas de soja sin deficiencias de S fue hasta cinco veces mayor que en plantas deficientes. Esto sugiere que los fotosintatos podrían limitar la FBN por una menor disponibilidad energética o esqueletos carbonados para la asimilación de amonio.

Consideraciones finales

Esta revisión permitió identificar patrones generales y específicos de la respuesta de leguminosas y rizobios a deficiencias de P, K y S. También se destacaron cuáles son los tópicos donde aún es necesario continuar con las investigaciones. Con el objetivo de encontrar patrones generales, algunas respuestas específicas pueden haberse obviado, como las referidas a distintas especies, con distinto tipo de nódulos (determinados o indeterminados), edad de la planta al momento de muestreo o condiciones de crecimiento.

Dada la relevancia para la nutrición de las plantas y su deficiencia en muchos ambientes, varios investigadores han puesto mucho esfuerzo en investigar el rol de la disponibilidad de P sobre las leguminosas y la FBN. Sin embargo, se ha puesto menos atención sobre K y S. La escasez de información referida a la concentración de N, K y S en nódulos impidió un análisis comprensivo del efecto directo de la deficiencia de estos nutrientes en el crecimiento y funcionamiento de los nódulos. Excepto por algunos reportes sobre P, la falta de información respecto de umbrales para la concentración de nutrientes en planta y nódulos impidió el desarrollo de relaciones cuantitativas entre nutrición, crecimiento de las plantas y actividad de los rizobios.

Numerosos estudios coinciden en que el mecanismo de *feedback* desencadenado por la disminución en el crecimiento de la biomasa aérea y la acumulación de compuestos nitrogenados es responsable de la reducción de la FBN ante deficiencias de P, K y S (Almeida et al. 2000; Vadez et al., 2000; Høgh-Jensen et al., 2002; Varin et al., 2010; Sulieman et al., 2013). Sin embargo, también existe evidencia de un efecto directo de estos nutrientes en el crecimiento y actividad de los nódulos. Pocos trabajos han procurado integrar ambos efectos, directos e indirectos, en la fisiología del sistema leguminosas-rizobios. La **Figura 5** pretende hacer dicha integración, basada en las conclusiones del presente trabajo y en fuentes bibliográficas.

Asimismo, luego del análisis de la información relevada, se proponen algunas cuestiones para futuras investigaciones:

- 1) Si los nutrientes controlan la FBN a partir de la demanda de N de las plantas: ¿Por qué la FBN se reduce en mayor proporción que la demanda ante deficiencias nutricionales? ¿Es esto un indicador del efecto directo de los nutrientes?
- 2) Si las concentraciones de P, K y S permanecen más estables en nódulos que en la biomasa aérea ante deficiencias nutricionales: ¿Por qué la productividad de los nódulos es más sensible que el crecimiento de la biomasa aérea?

En conclusión, el análisis permite confirmar que la deficiencia de P, K y S reduce el crecimiento y número de nódulos en mayor medida que el crecimiento

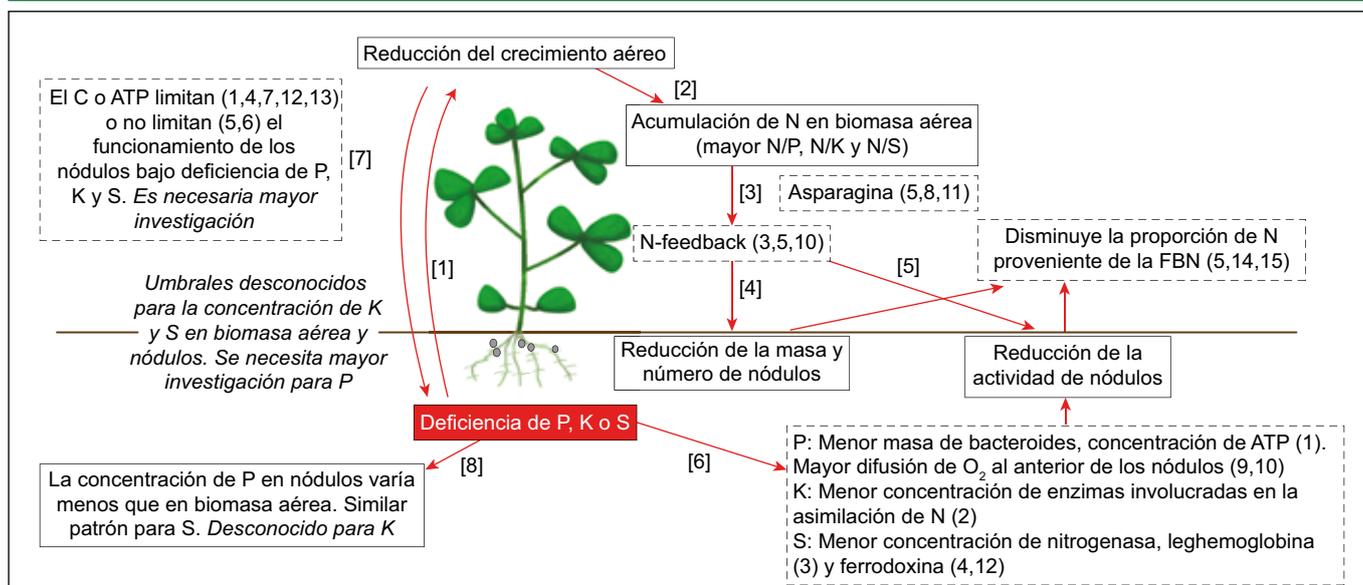


Figura 5. Mecanismos fisiológicos de la respuesta de las leguminosas y rizobios a la deficiencia de P, K y S. Paso [1] involucra la reducción en el crecimiento de la biomasa aérea en respuesta a la deficiencia de nutrientes. Paso [2] involucra la acumulación relativa de N en biomasa aérea. Paso [3] involucra mecanismos de feedback que deprimen la fijación biológica de N (FBN). Se propone a la asparagina como regulador principal. Paso [4] involucra la reducción en la masa total y número de nódulos. Paso [5] la reducción en la productividad de los nódulos. Paso [6] involucra un efecto directo de los nutrientes en el crecimiento y actividad de los nódulos. Paso [7] involucra el efecto de la limitación por C en el funcionamiento de los nódulos. Paso [8] involucra el mantenimiento de la concentración de P, K y S en nódulos ante variaciones en la oferta del nutriente. Este modelo conceptual está basado en el análisis original de Divito y Sadras (2014) (cajas con líneas llenas) y apoyado por fuentes bibliográficas (cajas con líneas punteadas) que se detallan: (1) Sa e Israel (1991); (2) Duke et al. (1980); (3) Varin et al. (2010); (4) Scherer et al. (2008); (5) Almeida et al. (2000); (6) Høgh-Jensen (2003); (7) Premaratne y Oertli (1994); (8) Sulieman et al. (2013); (9) Ribet y Drevon (1995); (10) Vadez et al. (2000); (11) Høgh-Jensen et al. (2002); (12) Pacyna et al. (2006); (13) Scherer et al. (2006); (14) Fajri (2006); (15) Scherer y Lange (1996). *El texto en itálica indica cuestiones donde es necesaria mayor investigación.*

de la biomasa aérea, permitiendo clarificar algunas controversias referidas al efecto del P sobre el número de nódulos. Además, fue posible determinar que la actividad de los nódulos disminuye en mayor medida que la biomasa aérea y la masa de nódulos, lo que indica que se producen descensos en la productividad de los nódulos. Esta conclusión es una de las principales contribuciones del presente análisis, dadas las discrepancias que existen en la literatura. Esta respuesta puede estar relacionada con el efecto directo del P, K y S sobre distintos procesos metabólicos que se llevan adelante en los nódulos.

Finalmente, el aumento en las relaciones N:P, N:K y N:S ante deficiencias de los nutrientes abordados en este trabajo apoya la hipótesis del mecanismo de *feedback* que reprime la FBN. A pesar de que se determinaron algunos patrones específicos para cada nutriente en la respuesta del sistema leguminosa-rizobio, los patrones de crecimiento, actividad de los nódulos y concentración de nutriente fueron similares para P, K y S. Esto remarca el rol central en la regulación de la FBN que podría tener el *feedback* disparado por el aumento en la concentración de compuestos nitrogenados, en conjunto con efectos individuales directos de cada nutriente.

Agradecimientos

Agradecemos a *The Crawford Fund* por permitir la estadía de Guillermo A. Divito en Australia, y a SARDI y *University*

of Adelaide por facilitar las instalaciones y acceso a la biblioteca. Las investigaciones de Víctor O. Sadras en leguminosas cuentan con el apoyo del *Australian Grains Research and Development Corporation* y *Australia-India Strategic Research Fund*.

Bibliografía

- Almeida, J.P.F., U.A. Hartwig, M. Frehner, J. Nösberger, y A. Lüscher. 2000. Evidence that P deficiency induces N feedback regulation of symbiotic N₂ fixation in white clover (*Trifolium repens* L.). *J. Exp. Bot.* 51:1289-1297.
- Al-Niemi, T.S., M.L. Kahn, y T.R. McDermott. 1997. P metabolism in the bean-*Rhizobium tropici* symbiosis. *Plant Physiol.* 113:1233-1242.
- Al-Niemi, T.S., M.L. Kahn, y T.R. McDermott. 1998. Phosphorus uptake by bean nodules. *Plant Soil* 198:71-78.
- Cadisch, G., R. Sylvester-Bradley, B.C. Boller, J. Nösberger. 1993. Effect of phosphorus and potassium on N₂ fixation (¹⁵N-dilution) of field-grown *Centrosema acutifolium* and *C. macrocarpum*. *Field Crop Res.* 31:329-340.
- DeBoer, D.L., y S.H. Duke. 1982. Effects of sulphur nutrition on nitrogen and carbon metabolism in lucerne (*Medicago sativa* L.). *Physiol. Plant* 54:343-350.
- Divito, G.A., V.O. Sadras. 2014. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 156:161-171. d.o.i. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.11.004>

- Drevon, J.J., y U.A. Hartwig. 1997. Phosphorus deficiency increases the argon-induced decline of nodule nitrogenase activity in soybean and alfalfa. *Planta* 201:463-469.
- Duke, S.H., M. Collins, y R.M. Soberalske. 1980. Effects of potassium fertilization on nitrogen fixation and nodule enzymes of nitrogen metabolism in alfalfa. *Crop Sci.* 20:213-219.
- Duke, S.H., y M. Collins. 1985. Role of potassium in Legume dinitrogen fixation, in: Potassium in Agriculture. Proceedings of an International Symposium. July 7 to July 10 1985. ASA-CSSA-SSSA, pp. 444-465.
- Fajri, A. 2006. Effects of different rates of potassium on nitrogen fixation and agronomic traits of three *Medicago sativa* varieties. *Pak. J. Biol. Sci.* 9:2881-2886.
- Graham, P.H., y C.P. Vance. 2000. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crop Res.* 65:93-106.
- Høgh-Jensen, H. 2003. The effect of potassium deficiency on growth and N₂-fixation in *Trifolium repens*. *Physiol. Plant.* 119:440-449.
- Høgh-Jensen, H., J.K. Schjoerring, y J.F. Soussana. 2002. The influence of phosphorus deficiency on growth and nitrogen fixation of white clover plants. *Ann. Bot. - London.* 90:745-753.
- Israel, D.W. 1993. Symbiotic dinitrogen fixation and host-plant growth during development of and recovery from phosphorus deficiency. *Physiol. Plant.* 88:294-300.
- Israel, D.W. 1987. Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. *Plant Physiol.* 84:835-840.
- Jakobsen, I. 1985. The role of phosphorus in nitrogen fixation by young pea plants (*Pisum sativum*). *Physiol. Plant.* 64:190-196.
- Kinzig, A.P., y R.H. Socolow. 1994. Human impacts on the nitrogen cycle. *Phys. Today* 47:24-31.
- Layzell, D.B., S. Hunt, y G.R. Palmer. 1990. Mechanisms of nitrogenase inhibition in soybean nodules. Pulse-modulated spectroscopy indicates that nitrogenase activity is limited by O₂. *Plant Physiol.* 92:1101-1107.
- Lea, P.J., L. Sodek, M.A.J. Parry, P.R. Shewry, y N.G. Halford. 2007. Asparagine in plants. *Ann. Appl. Biol.* 150:1-26.
- Lynd, J.Q., G.V. Odell Jr., y R.W. McNew. 1981. Soil potassium effects on nitrogenase activity with associated nodule components of hairy vetch at anthesis. *J. Plant Nutr.* 4:303-318.
- Mengel, K., M.R. Haghpara, y K. Koch. 1974. Effect of potassium on fixation of molecular nitrogen by root nodules of vicia-faba. *Plant Physiol.* 54:535-538.
- Olivera, M., N. Tejera, C. Iribarne, A. Ocaña, y C. Lluch. 2004. Growth, nitrogen fixation and ammonium assimilation in common bean (*Phaseolus vulgaris*): effect of phosphorus. *Physiol. Plant.* 121:498-505.
- Pacyna, S., M. Schulz, y H.W. Scherer. 2006. Influence of sulphur supply on glucose and ATP concentrations of inoculated broad beans (*Vicia faba minor* L.). *Biol. Fert. Soils* 42:324-329.
- Parson, R. 1997. Contrasting C supply, N assimilation and N transport across a range of symbiotic plants, in: Legocki, A., Bothe, H., Pühler, A., (Eds). Biological fixation of nitrogen for ecology and sustainable agriculture. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, pp. 231-234.
- Pereira, P.A.A., y F.A. Bliss. 1989. Selection of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) for N₂ fixation at different levels of available phosphorus under field and environmentally-controlled conditions. *Plant Soil* 115:75-82.
- Premaratne, K.P., y J.J. Oertli. 1994. The influence of potassium supply on nodulation, nitrogenase activity and nitrogen accumulation of soybean (*Glycine max* L. Merrill) grown in nutrient solution. *Fert. Res.* 38:95-99.
- Qiao, Y., C. Tang, X. Han, y S. Miao. 2007. Phosphorus deficiency delays the onset of nodule function in soybean. *J. Plant Nutr.* 30:1341-1353.
- Ribet, J., y J.J. Drevon. 1995. Increase in permeability to oxygen and in oxygen uptake of soybean nodules under limiting phosphorus nutrition. *Physiol. Plant* 94:298-304.
- Römheld, V., y E. Kirkby. 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant Soil* 335:155-180.
- Sa, T.M.I., y D.W. Israel. 1991. Energy status and functioning of phosphorus-deficient soybean nodules. *Plant Physiol.* 97:928-935.
- Sangakkara, R., U.A. Hartwig, y J. Nosberger. 1996. Growth and symbiotic nitrogen fixation of *Vicia faba* and *Phaseolus vulgaris* as affected by fertiliser potassium and temperature. *J. Sci. Food Agric.* 70:315-320.
- Scherer, H.W. 2001. Sulphur in crop production – invited paper. *Eur. J. Agron.*, 14:81-111.
- Scherer, H.W., y A. Lange. 1996. N₂ fixation and growth of legumes as affected by sulphur fertilization. *Biol. Fert. Soils* 23:449-453.
- Scherer, H.W., S. Pacyna, N. Manthey, y M. Schulz. 2006. Sulphur supply to peas (*Pisum sativum* L.) influences symbiotic N₂ fixation. *Plant Soil Environ.* 52:72-77.
- Scherer, H.W., S. Pacyna, K. Spoth, y M. Schulz. 2008. Low levels of ferredoxin, ATP and leghemoglobin contribute to limited N₂ fixation of peas (*Pisum sativum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) under S deficiency conditions. *Biol. Fert. Soils* 44:909-916.
- Schulze, J. 2004. How are nitrogen fixation rates regulated in legumes?. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167:125-137.
- Schulze, J., G. Temple, S.J. Temple, H. Beschow, y C.P. Vance. 2006. Nitrogen fixation by white lupin under phosphorus deficiency. *Ann. Bot. London.* 98:731-740.
- Suliman, S., C.V. Ha, J. Schulze, y L.S.P. Tran. 2013. Growth and nodulation of symbiotic *Medicago truncatula* at different levels of phosphorus availability. *J. Exp. Bot.* 64:2701-2712.
- ThomsonReuters. 2013. (Web of Knowledge SM: New York, USA) <http://apps.webofknowledge.com/UA_GeneralSearch_input.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&SID=Q24GfEGFc9@OdMkAM6k&preferencesSaved=> [accessed September 2013].
- Vadez, V., T.R. Sinclair, y R. Serraj. 2000. Asparagine and ureide accumulation in nodules and shoots as feedback inhibitors of N₂ fixation in soybean. *Physiol. Plant.* 110:215-223.
- Vance, C.P., P.H. Graham, y D.L. Allan. 2000. Biological nitrogen fixation: phosphorus a critical future need? in: Pederosa, F.O., Hungria, M., Yates, M.G., Newton, W.E., (Eds.). Nitrogen Fixation from Molecules to Crop Productivity. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 509-518.
- Varin, S., J.B. Cliquet, E. Personeni, J.C. Avice, y S. Lemauiel-Lavenant. 2010. How does sulphur availability modify N acquisition of white clover (*Trifolium repens* L.)? *J. Exp. Bot.* 61:225-234. 🌱

¿Por qué hay confusión en la interpretación de los análisis químicos de suelos en México?*

J. Etchevers-Barra¹, J. Padilla Cuevas¹, C. Hidalgo Moreno¹, y A. Tasistro²

Introducción

El diagnóstico del estado nutrimental de los suelos, es decir, la estimación de su capacidad para abastecer de nutrientes a los cultivos ya sea por sus características químicas naturales o por el efecto residual del manejo previo, en particular la adición de fertilizantes y enmiendas, es fundamental para alcanzar los rendimientos máximos posibles en un agroecosistema. La capacidad máxima de producción de un agroecosistema puede ser modificada por intervención antrópica si se corrigen algunos factores de la producción, como son: abastecimiento de agua, profundidad de enraizamiento, adición de enmiendas, etc. A cada rendimiento máximo posible le corresponde una demanda nutrimental que tiene que ser suministrada por el suelo y, en caso de no ser suficiente, se debe suplementar mediante la adición de productos fertilizantes orgánicos o inorgánicos. El diagnóstico de esa capacidad de suministro de nutrientes esenciales (y a veces de elementos tóxicos) es a lo que se aspira al medir en el laboratorio, en una muestra de suelo, con un indicador de disponibilidad mediante el empleo de técnicas químicas específicas. La interpretación, esto es, entender el significado de los resultados de estos indicadores, es lo que muchas veces genera cierta confusión. Lo que el método químico provee no es la cantidad real disponible de un nutriente, sino un índice que se asocia con el valor verdadero de lo que el cultivo puede adquirir. Dicho índice puede ser mayor o menor que esa cantidad, por eso se habla de que es un indicador. Para poder inferir la disponibilidad se requiere haber transitado por diferentes pasos previos que comienzan con la certeza de haber generado la información previa. Esto es: i) haber seleccionado la solución química adecuada para la extracción, ii) haber relacionado el resultado del análisis químico con una probabilidad de respuesta a la aplicación de un fertilizante (esto es haber establecido la clase de fertilidad), y finalmente iii) haber considerado el rendimiento esperado, porque la interpretación es función de éste parámetro. Por ejemplo, 3-4 ppm de P-Olsen son totalmente inadecuadas para producir 10 toneladas de maíz, pero son más que suficiente para una producción de 2 toneladas de grano de este cultivo. Resulta entonces, que la interpretación requiere de un entendimiento del sistema de producción, de un conocimiento profundo de la teoría química que hay detrás de cada uno de estas técnicas y de los aspectos agronómicos (correlación y calibración).

Hay que dejar en claro que el diagnóstico y la corrección de los problemas nutrimentales constituyen sólo una parte

de un plan destinado a abastecer correctamente de todos los factores de crecimiento manejables requeridos para alcanzar los rendimientos máximos posibles. Factores como agua, energía, sanidad, genotipo, condiciones físicas del sustrato, etc., son tan fundamentales como la nutrición misma. Estos factores de crecimiento se ubican asociados a los tres componentes fundamentales del sistema de producción: atmósfera, suelo y cultivo, y deben ser comprendidos a cabalidad para alcanzar el éxito en la producción; esto es, se requiere entender cómo funciona el sistema suelo-cultivo-atmósfera y, en particular, la naturaleza de las interacciones (flujos) que se dan entre estos tres componentes. El resultado de estas interacciones se traducirá finalmente en la producción de biomasa.

El diagnóstico a que nos referimos hoy sólo toca el aspecto nutrimental. Hay otro diagnóstico, que llamaremos general o de campo, que permite identificar la intensidad en que se encuentran presentes los tres componentes del sistema arriba mencionados y sus factores asociados, y la manera de cómo éstos afectan el desarrollo del cultivo y la producción. En conclusión, la producción de biomasa y del producto de interés para el ser humano está determinada por la capacidad del agroecosistema dado de satisfacer la demanda nutrimental y de otros factores de la producción, del cultivo en cuestión. Por lo general, las magnitudes de dichas demandas necesarias para alcanzar los rendimientos máximos posibles son conocidas; pero lo que generalmente no se conoce es la proporción de dicha demanda que puede ser ofertada naturalmente por el agroecosistema. El diagnóstico, sin entrar en detalles, proporciona elementos para acercarse a estimar esta oferta natural. Así, se pueden hacer diagnósticos que resulten útiles para identificar los factores de orden edáfico, fisiológico, hídrico, nutrimental, etc. que pudiesen restringir la producción.

El plan de diagnóstico y el manejo nutrimental

La estructuración de un plan de manejo, del cual forma parte el análisis químico de suelo, consta de varios pasos. El primer paso es conocer, en profundidad, cómo funciona el sistema de producción respectivo. Nutrimentalmente hablando hay que entender cuáles son los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas y cuáles los nocivos, cómo son adquiridos éstos por las plantas, cómo son transportados ya estando en su interior, en qué concentraciones deben estar en los tejidos de los cultivos para que no restrinjan su crecimiento, etc.

¹ Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México, México. Correo electrónico: jetchev@colpos.mx

² International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia. Correo electrónico: atasistro@ipni.net

* Adaptado del trabajo original presentado en el XXXVIII Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo. 24-29 de Noviembre de 2013, La Paz, B.C.S., México.

El segundo paso del plan es conocer las técnicas de diagnóstico apropiadas para cuantificar la intensidad de los factores no controlables y de los controlables. Entre estos últimos se incluye el estado nutricional del sistema de producción y, en particular, entender si el suelo o sustrato va a proporcionar los nutrientes en la cantidad requerida por el cultivo (condiciones que dependen del tipo de cultivo y del rendimiento esperado). Esto último dependerá también de la capacidad de la planta para hacer uso de ese recurso. Del análisis que se haga resultará si hay que aplicar algún elemento o realizar alguna práctica para eliminar factores limitantes, de modo de llevarlos a niveles adecuados. Es obvio por lo dicho, que es preciso conocer de antemano los umbrales o rangos de suficiencia/deficiencia de los nutrientes, tanto presentes en el suelo como en la planta que pueden provocar disminuciones en la producción de los cultivos. Sin ellos es imposible tomar medidas correctivas precisas.

El tercer componente del plan se refiere a entender la dinámica, que experimentan los factores de crecimiento. Algunos, como una deficiencia de nitrógeno (N) o la presencia de un pie de arado, pueden corregirse rápidamente, sin embargo otros son muy difíciles de modificar (como puede ser la textura del suelo). En el caso de los factores nutricionales hay que conocer la química detrás de la disponibilidad de un elemento en el suelo (fijación, mineralización, volatilización, lixiviación, etc.) y como corregirla. Es de escasa utilidad corregir un fenómeno cuya efectividad pudiese estar controlada por un tercer factor. Un ejemplo de ello sería la adición de un fertilizante amoniacal en la superficie de un suelo calcáreo.

Esto lleva a responder las preguntas cruciales: ¿Cuánto, cuándo, dónde y qué tipo de fertilizante se debe aplicar? Conocer y saber aplicar las tecnologías de uso de los fertilizantes es el cuarto componente.

Finalmente el quinto componente del plan nutricional se refiere a los aspectos económicos de la fertilización: ¿Es rentable la recomendación técnica que se ha hecho?

Análisis químico de suelos

Variables que requieren de correlación y calibración

El análisis químico de los suelos consiste, generalmente, en pasar a la forma soluble mediante el uso de una solución química o una resina de intercambio, una fracción del total del elemento presente en una muestra de suelo y luego evaluarla mediante procedimientos analíticos adecuados. Este procedimiento se emplea tanto para variables que tienen interpretación directa como para las que requieren ser seleccionadas para que representen la fracción que la planta puede adquirir (mediante la correlación y debida aplicación de un protocolo analítico) y posteriormente deberán ser calibradas (es decir, se establecerán clases de fertilidad de suelos). Estas últimas variables generalmente se refieren a fracciones del total presente en el suelo, que pueden ser solubilizadas. Una

solución química puede disolver cualquier forma que sea soluble en el reactivo químico base de la solución y no necesariamente aquella parte a que la planta puede tener acceso durante su ciclo de vida o una parte de él. Cuando se hace una extracción, la solución química actúa en todas las superficies accesibles de la muestra (generalmente molida a 2 mm) que pueda alcanzar. Sin embargo, en condiciones de campo muchos de esas superficies que pueden liberar nutrientes nunca serán alcanzadas por las raíces o los pelos radicales de ésta. En consecuencia, una interpretación correcta del análisis químico, además de considerar el resultado de éste, necesariamente debe tomar en cuenta la naturaleza (abundancia, extensión, distribución espacial) del sistema radical del cultivo.

Dependiendo de la posición del elemento nutricional en el suelo, se denomina la fracción respectiva; así si el elemento se encuentra en forma soluble, esta fracción se llamará soluble, si está en forma intercambiable, la fracción se llamará de esta manera, etc. Aunque generalmente en la solución de extracción coexisten varias fracciones, hay una que resulta dominante. La cantidad extraída de estas fracciones contrasta con los contenidos totales. Estos últimos no se relacionan con el abastecimiento u oferta nutricional que puede hacer el suelo a un cultivo y no tienen mayor valor como indicadores de la fertilidad del suelo. Son solo ciertas fracciones las que se pueden correlacionar con lo que la planta adquiere. Los experimentos de correlación deben hacerse preferentemente en condiciones controladas (invernadero), con los cultivos de interés, siguiendo normas experimentales de trabajo en macetas debidamente aceptadas, y realizando la cosecha al mismo estado fenológico en que se realizará la cosecha del cultivo en campo. Ello implica, por ejemplo, trabajar con tamaños de macetas que sean *ad hoc*. Generalmente se considera un coeficiente de correlación (r) aceptable entre las dos variables independientes (resultado de laboratorio e indicador biológico-químico medido en el experimento en macetas) de aproximadamente 0.8 o mayor, para que la interpretación del resultado señale que la fracción medida sea indicadora de disponibilidad de lo que la planta puede adquirir. Sólo en dicho caso podremos llamar a la fracción extraída, como "fracción disponible". Debe quedar claro que lo que uno mide mediante un análisis de este tipo es un indicador de la disponibilidad y no la cantidad de nutriente (kg ha^{-1}) que el suelo puede aportar a la planta.

Esta medida es a veces usada por los laboratorios para hacer más comprensible el resultado, pero es una práctica que debería abandonarse porque crea confusión. Es común escuchar esta aseveración e inclusive constatar que tales resultados analíticos se incluyen en planillas de cálculo para formular recomendaciones de fertilizantes, lo cual es un profundo error. Consecuentemente, no cualquier solución de extracción descrita en la literatura es apta para evaluar la disponibilidad de un nutriente. Desgraciadamente en México se han hecho pocos

trabajos de correlación, lo cual hace que la interpretación de un análisis pudiese no ser correcta. En general, se han adoptado soluciones basadas en opinión de expertos o procedimientos analíticos que han demostrado cierta validez universal. Por ejemplo, en la mayoría de los casos, la extracción de bases intercambiables se hace con acetato de amonio (1 N, pH 7), aunque usarla en suelos alcalinos con carbonato de calcio libre es un error; la de fósforo (P) extraíble se realiza en suelos ácidos con una solución ácida (Bray-1) y en suelos neutros y alcalinos con bicarbonato de sodio (0.5 M, pH 8.5). Hay fundamentos químicos para esta decisión, pero no podemos llamar a esas fracciones P disponible, porque en la mayoría de los casos no han sido debidamente correlacionadas la cantidad absorbida de un nutriente y el nivel de análisis de suelo.

Si bien es posible transformar un valor de análisis de suelo expresado en unidades como partes por millón (ppm) o miligramos por kilogramo (mg kg^{-1}) de suelo, a kilos de nutriente absorbible por cada ppm o mg kg^{-1} de nutriente extraíble, la operación requiere de un conocimiento preciso de cuantos kilos de un nutriente puede absorber un cultivo por cada unidad de concentración indicada por el análisis de suelo. Esto sólo puede hacerse con experimentos muy bien controlados. Esto constituye un nuevo campo de investigación en el cual se carece de mucha información.

La interpretación agronómica del resultado de un análisis químico, que se practica con un método apropiado para tener un indicador de la cantidad de nutrimento que la planta puede extraer del suelo, es decir, que ha sido debidamente correlacionado, precisa de otro conocimiento. Este conocimiento es la relación que se debe establecer entre el resultado del análisis químico de un nutriente conducido en el laboratorio con el rendimiento que puede alcanzar un cultivo en condiciones de campo o la posibilidad de respuesta que se puede esperar a su aplicación (Bray, 1945). Al procedimiento empleado para establecer esta relación se le denomina calibración y requiere la ejecución de numerosos experimentos de campo que permitan medir la variabilidad espacial y temporal de la respuesta del cultivo. Esta calibración es sinónimo de establecimiento de clase de fertilidad, la cual como se indicó, sólo puede hacerse en condiciones de campo.

En México se han realizado muy pocas calibraciones, por lo que, en ausencia de esta información para condiciones locales, la interpretación se hace tomando prestados resultados de calibraciones hechas en otras partes del mundo, lo que se denomina extrapolaciones. Este procedimiento interpretativo conlleva error, ya que no se sabe si las condiciones de suelo, cultivo, genotipo, rendimiento máximo alcanzable, clima, etc., en el agroecosistema en el que se hizo la calibración son las mismas que se encuentran localmente en donde haremos la extrapolación. Los mejores resultados de este

ejercicio se lograrán cuando el cultivo, el tipo de suelo, las condiciones de manejo y el clima de la zona de origen de los datos sean similares a la de la zona donde se pretende utilizarlos.

Por lo dicho anteriormente, para generar buenas interpretaciones y recomendaciones con base en el análisis de suelo, se debe contar con procedimientos apropiadamente seleccionados y adecuadamente calibrados. Esta es la base del éxito de un programa de análisis de suelo con un enfoque tradicional. De no contar con ellos, la interpretación sólo puede hacerla una persona con experiencia, que conozca el tema y con el cuidado ético de señalar que su interpretación está basada en su opinión como experto y no en las sólidas bases que demanda los principios del análisis químico de suelo.

Variables que tienen interpretación directa

Hay un conjunto de determinaciones químicas que realizan los laboratorios destinados a hacer análisis químico de suelo con propósitos de fertilidad que no requieren de correlación ni calibración local. Estas determinaciones incluyen el pH del suelo, la conductividad eléctrica, el contenido de N Kjeldahl (impropiamente denominado N total), carbono fácilmente oxidable, carbonato de calcio libre, capacidad de intercambio catiónico, acidez intercambiable, aluminio intercambiable, porcentaje de saturación de bases, relación de adsorción de sodio, porcentaje de sodio intercambiable y determinaciones ocasionales como aluminio, manganeso y silicio extraíble en diferentes soluciones químicas. Ninguna de estas determinaciones indica directamente la disponibilidad de un nutriente esencial para un cultivo, sin embargo, permiten construir la naturaleza del ambiente químico del suelo. De ahí se pueden hacer una gran cantidad de inferencias basadas en las experiencias preliminares. La característica de estas determinaciones es que tiene una validez casi universal, por lo que su interpretación sólo requiere de tablas con los valores límites de las distintas clases que se han generado mayoritariamente de manera arbitraria. Un problema que a veces puede surgir es que existan varias tablas interpretativas para una misma variable. Un caso típico es el la reacción del suelo, ya que varios autores han establecidos diferente número de clases con límites que, por lo general, no coinciden. La solución en tales situaciones es escoger el que mejor se ajuste a la condición que a uno le interesa diagnosticar. Así tener una escala con 10 o más clases de pH no parece tener mucho sentido, porque el significado agronómico de los límites no se relaciona con prácticas posibles de manejo. Quizás en el ejemplo dado bastaría con 3 ó 5 clases, que permitan tomar medidas prácticas de manejo.

Comentarios acerca de las recomendaciones basadas en análisis químico de suelo

La cantidad de nutriente a aplicar es una información que se recaba mediante otra aproximación metodológica. No

es posible deducirla directamente del resultado de un análisis químico de suelos, a menos que se cuente con información preliminar que haya relacionado las dosis óptimas económicas (DOE) con los resultados de análisis debidamente seleccionados y calibrados.

La determinación de las clases de fertilidad requiere realizar muchos experimentos de campo para cubrir la variabilidad temporal y espacial—en especial en suelos que tienen niveles de disponibilidad que cubren todo el espectro posible, desde casi nula a elevada—en los que se mide el rendimiento relativo que se alcanza con la aplicación de dosis crecientes de un nutriente. Estos rendimientos relativos se relacionan con los resultados de los análisis químicos de muestras colectadas en los mismos sitios. A partir de dichas curvas se establecen clases de fertilidad que tienen límites arbitrarios y que responden a la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes (respuestas altas, medias, bajas u otras). Un propósito adicional es definir la DOE (que siempre es inferior a la dosis óptima fisiológica), que se puede usar como base para deducir las recomendaciones de fertilidad. Estas DOE son dependientes de factores económicos como son el precio del producto y de los insumos en el mercado. Así, el valor del análisis químico de suelo propiamente correlacionado y calibrado, cumple un doble propósito: sirve para diagnosticar el estado de fertilidad del suelo (deficiente, adecuado, excesivo) y cuando relacionado con la respuesta a la aplicación de dosis crecientes de fertilizantes en experimentos de campo, puede servir para formular una recomendación de fertilización. Sin embargo, como las DOE varían en función de la relación entre el precio de los productos y el precio de los insumos, deben hacerse ajustes periódicos, a menos que la relación entre ambos se mantenga constante. Actualmente en México no existe información actualizada de este tipo, que relacione análisis químicos de suelo bien conducidos con las DOE, aunque en algunos sectores del país se definieron dichas DOE, pero no han sido ajustadas a las nuevas condiciones de mercado.

Consideraciones finales

Los análisis químicos de suelo son una valiosa herramienta para diagnosticar la capacidad de abastecimiento de nutrientes a los cultivos, siempre y cuando se hayan seguido los protocolos agronómicos debidamente establecidos (selección de procedimiento, establecimiento de clases de fertilidad, relación de los resultados de análisis químico con probabilidad de respuestas a la aplicación de fertilizantes en el campo bajo diferentes condiciones, establecimiento de dosis óptimas económicas). Sin embargo, dichos protocolos escasamente se han realizado en México, por lo que la interpretación y las recomendaciones se hacen siguiendo otros procedimientos, que pudiesen tener cierta validez si son conducidos por profesionales experimentados.

Se concluye, que si el país quiere posicionarse en un nivel moderno de uso de esta valiosa herramienta debe comenzar con una seria campaña de formación de recursos humanos, que permitan superar 70 años de atraso en este campo, e integrar otras técnicas complementarias que permitan evitar contaminación ambiental, mal uso de los fertilizantes, despilfarro de recursos económicos, importaciones innecesarias y un avance significativo en la materia.

Bibliografía

- Bray, R.H. 1945. Soil plants relationships. II Balanced fertilizer use through soil test for K and P. *Soil Science* 60:463-473.
- Chapman, H.D. 1966. (Ed.). *Diagnostic criteria for plant and soils*. Homer Chapman, Riverside, California.
- Etchevers, J.D., P. Anzastiga, V. Volke, y G.G. Etchevers. 1986. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación del fósforo disponible en suelos del Estado de Puebla. *Agrociencia* 65:161-178.
- Etchevers, J.D. 1991b. La función del laboratorio en el diagnóstico de las necesidades de fertilizantes. Enfoques tradicionales y modernos del análisis químico de suelo. *ADIFAL*, Marzo-Abril, 21-27. México D.F.
- Etchevers, J.D., J. Rodríguez, y A. Galvis. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. *TERRA* 9:3-10.
- Etchevers, J.D., V. Volke, A. Galvis, y J. Rodríguez. 1990. Metodologías utilizadas para generar recomendaciones de fertilización, pp. 287-320. In: R. Jasso I., M. Montes H. y C. Hernández Y. (ed.) *Aprovechamiento del agua y los fertilizantes en las regiones áridas*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.
- Ortega, T.E. 1963. Correlación entre métodos de análisis químicos del fósforo aprovechable por las plantas y los rendimientos relativos del maíz. *Agricultura Técnica en México* 2(4):148-151.
- Peck, T.R., y P.N. Soltanpour. 1990. The principles of soil testing, pp. 1-9. In: *Soil testing and plant analysis*. 3ª. ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Peeverill, K.I., y L.A. Sapparrow. 1999. *Soil analysis. An interpretation manual*. CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria, Australia.
- Rodríguez, S.J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 291 p.
- Sumner, M.E. 1999. *Handbook of Soil Science*. Taylor & Francis. 2148 p. 🌱

Contenido proteico en granos de distinto tamaño en cebada cervecera

P.N. Magliano¹, P. Prystupa², F.H. Gutiérrez Boem^{2,3}

Introducción

Alrededor del 20% de la cebada producida en el mundo es transformada industrialmente para obtener malta, principal insumo de la industria cervecera (Cattáneo, 2011). La calidad industrial de la cebada cervecera se asocia directamente al contenido proteico y al tamaño de sus granos (Bishop, 1930; Briggs, 1998). En cebada, el tamaño de los granos es establecido por su ancho (no por su peso) y se lo determina pasando una muestra a través de un conjunto de pequeñas zarandas calibradas. Al porcentaje del peso de la muestra retenido sobre la zaranda cuyos orificios tienen un ancho de 2.5 mm se lo denomina calibre. El contenido proteico óptimo se encuentra entre el 10 y el 12%, el calibre debe ser mayor a 85% según el estándar de comercialización vigente en Argentina y el porcentaje que pasa a través de la zaranda con orificios de 2.2 mm de ancho debe ser menor del 3%. Estas características que hacen a la calidad industrial de la cebada, se determinan durante el ciclo del cultivo, y la fertilización nitrogenada es clave en ello (De Ruiter, 1999; O'Donovan et al., 2011; Pomeranz et al., 1976; Prystupa et al., 2012; Ross et al., 2011).

En las malterías se considera que las partidas de cebada que tienen bajo calibre, presentan alto contenido proteico. Esta relación negativa entre calibre y proteína es atribuida a que, dentro de una partida de cebada, los granos finos tienden a presentar un mayor contenido proteico que los granos gruesos. La literatura científica sobre el malteo de la cebada refleja este concepto general (Briggs, 1998; Newman y Newman, 2008; Savin y Aguinaga, 2011). La asociación negativa entre calibre y contenido proteico ha sido observada en diversos experimentos donde se comparan cultivares, niveles de disponibilidad hídrica o de nitrógeno (N) (De Ruiter y Haslemore, 1996; Pomeranz et al., 1976). Esta asociación puede tener dos explicaciones. En primer término, las sequías y las altas temperaturas ocurridas durante la etapa de llenado de grano provocan una reducción del calibre de los granos y un aumento en su contenido proteico (Fathi et al., 1997; Savin et al., 1997). Por lo tanto, partidas de cebada que provienen de cultivos que sufrieron estrés hídrico o térmico durante el llenado de grano tienen menor calibre y mayor contenido proteico de granos que aquellas partidas que provienen de cultivos que no los sufrieron. En segundo término, la fertilización nitrogenada, en cultivos deficientes en este nutriente, provoca simultáneamente aumentos en el contenido de proteína y reducción en el calibre (Weston et al., 1993; Grashoff y d'Antuono, 1997; O'Donovan et al., 2011; Ross et al., 2011; De Ruiter, 1999). La reducción en el tamaño de grano se debe a que, cuando se fertiliza con N u otro nutriente, aumenta el número de granos que provienen de macollos ya que se generan granos en posiciones más distales de la espiga que se caracterizan por un menor calibre (De Ruiter, 1999; Ellis y Marshall, 1998). Ambas

causas explican porque existe una asociación negativa entre calibre de grano y el contenido proteico cuando se comparan granos provenientes de distintos ambientes (Ejemplo, granos de cultivos que crecieron con distinta disponibilidad de N y/o condiciones ambientales durante su ciclo, como puede ser el caso de grano proveniente de distintos lotes de cultivo dentro de una misma región).

En partidas de grano provenientes de un ambiente determinado, incluso en granos provenientes de una misma planta, existen granos más grandes y más pequeños. Solo unos pocos autores midieron contenido proteico en granos de diferente grosor proveniente de un mismo ambiente. Li et al. (2008) separaron granos de cebada provenientes de cuatro ambientes en cuatro fracciones de calibre (> 2.8, 2.8-2.5, 2.5-2.2, y < 2.2 mm) y no encontraron diferencias entre los contenidos proteicos de cada fracción. En cebada, los granos provenientes de la base o del centro de la espiga tienen un peso de grano mayor que los del extremo apical (Ellis y Marshall, 1998; Yin et al., 2002). Si bien el calibre y el peso unitario de granos no son características equivalentes, existe una fuerte asociación entre estas dos variables (Pomeranz et al., 1976), por lo que se puede suponer que los granos apicales tienen menor calibre que los provenientes del centro de la espiga. Ellis y Marshall (1998) observaron que los granos apicales (más pequeños) tenían un contenido proteico mayor que los centrales aunque la diferencia era muy pequeña. Yin et al. (2002), en cambio, observaron que el contenido proteico de los granos de distintas posiciones variaba de acuerdo al momento de la fertilización nitrogenada: cuando se fertilizaba durante macollaje, los granos del centro y del ápice de la espiga tenían similares contenidos proteicos, mientras que cuando se fertilizaba en el estado de vaina engrosada, los granos centrales y basales (más grandes) tenían concentraciones proteicas menores que los apicales (más pequeños).

La diferencia de contenido de proteína entre fracciones de calibre tiene una implicancia práctica durante el manejo post-cosecha de los granos. Para mejorar el calibre de una partida de granos, es posible clasificar el cereal mediante una zaranda y eliminar la fracción más fina (Briggs, 1998). Si la fracción más fina tiene mayor contenido proteico que la más gruesa, durante la clasificación disminuirá el contenido proteico promedio de esa partida de granos. Ese es el caso si se zarandea una mezcla de granos provenientes de ambientes con distinta disponibilidad de N o que sufrieron distinto nivel de estrés post-antesis. Lo que suceda al zarandear granos provenientes de ambientes homogéneos dependerá de si los granos más finos y más gruesos provenientes de un mismo ambiente poseen, o no, distinto contenido proteico.

El objetivo de este trabajo fue determinar si, en un mismo ambiente, los granos correspondientes a las fracciones más finas poseen un contenido proteico distinto a los de

¹ IFEVA-CONICET, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: patriciomagliano@hotmail.com.

² Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

³ INBA-CONICET, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

las fracciones más gruesas. Nuestra hipótesis de trabajo es que los granos de distinto tamaño provenientes del mismo ambiente tendrían el mismo contenido proteico.

Materiales y métodos

En los años 2005, 2006 y 2008 se realizaron cuatro ensayos a campo con cultivos de cebada cervecera variedad 'Scarlett' alrededor de la ciudad de Junín (Buenos Aires), en la región pampeana argentina (-34°41'S, 60°59'W). El clima de la región es templado-húmedo, con una precipitación media anual de 850 mm y una temperatura media anual de 16 °C. Los suelos fueron Hapludoles énticos (sitios 1, 2 y 4) y Hapludol típico (sitio 3). Los ensayos se realizaron utilizando la tecnología de manejo del cultivo habitual para la zona, sobre la base de la siembra directa con barbecho químico. La siembra se realizó a principios de julio y la cosecha a fines de noviembre. El cultivo antecesor fue soja en todos los casos. La distancia entre surcos fue de 17.5 cm. Se realizó un control de malezas previo a la siembra y un mes post-emergencia, con un herbicida de amplio espectro, y se realizó un manejo preventivo de las plagas habituales de la zona.

El diseño experimental fue en bloques completos y la asignación de los tratamientos fue al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron 3 niveles de fertilización nitrogenada a la siembra: N0: sin fertilizar con nitrógeno; N1: con el fertilizante necesario para alcanzar

una disponibilidad de 100 kg N ha⁻¹ (Nd) sumando el N del fertilizante (Nf) más el presente en el suelo como nitratos hasta 60 cm de profundidad (Ns); y N2: con el fertilizante para una Nd de 160 kg N ha⁻¹. Cada parcela tuvo 39 m² de superficie. Se utilizó urea como fuente nitrogenada, y se realizó una fertilización de base con fósforo y azufre en todas las parcelas para llevar dichos nutrientes a niveles que no limiten el crecimiento del cultivo. El contenido de N como nitratos en el suelo hasta los 60 cm a la siembra del cultivo fue similar en los cuatro sitios experimentales, variando entre 46 y 53 kg ha⁻¹ de N.

Se midieron las precipitaciones durante el ciclo de los cultivos en estaciones meteorológicas ubicadas cerca de los ensayos (**Tabla 1**). Cuando el cultivo alcanzó la madurez comercial (granos con 12% de humedad) se cosechó una muestra de un metro cuadrado de cada parcela y se determinó el rendimiento, el calibre y el contenido de N de los granos. Para determinar el calibre y el contenido de N, las muestras se secaron en estufa a 65 °C durante 48 horas. El calibre se midió con una calibradora Sortimat K-3 (Pfeuffer), que clasificó a los granos en 4 fracciones: mayor a 2.8 mm (fracción 1), entre 2.8 y 2.5 mm (fracción 2), entre 2.5 y 2.2 mm (fracción 3) y menor a 2.2 mm (fracción 4). En cada una de las cuatro fracciones se determinó el contenido de N mediante colorimetría de digestos Kjeldahl (Baethgen y Alley, 1989). El contenido proteico de la muestra completa de cada parcela se obtuvo calculando el promedio del contenido proteico de cada fracción ponderado por su peso relativo al peso total de la muestra completa.

Para evaluar las diferencias en el rendimiento, el contenido proteico de la muestra completa y el calibre se realizaron análisis de varianza considerando el sitio y el N como factores principales. Para detectar diferencias en el contenido proteico de cada fracción de tamaño se realizaron análisis de varianza considerando la fracción de tamaño y el N como factores principales. Para evaluar el grado de asociación entre las variables medidas se realizaron análisis de regresión.

Resultados

La combinación de sitios experimentales y tratamientos de N generó una gran variación de ambientes que se vio reflejada tanto en el rendimiento como en el contenido de proteína de los granos. El rendimiento varió entre 1.5 y 6.5 Mg ha⁻¹ y el contenido proteico de los granos (muestra completa) varió entre 6.8 y 13.4%. El rendimiento y el contenido proteico de la muestra completa variaron significativamente entre sitios experimentales (**Tabla 1**). En líneas generales, los sitios con mayores precipitaciones presentaron mayores rendimientos y menores contenidos proteicos de la muestra completa (**Tabla 1**). La fertilización nitrogenada aumentó significativamente el rendimiento, en promedio, 0.3 Mg ha⁻¹. El efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento no varió entre sitios (efecto N x sitio no significativo). La fertilización nitrogenada también incrementó el contenido proteico,

Tabla 1. Precipitaciones, análisis de varianza del rendimiento y del contenido proteico de la muestra completa considerando el sitio y el nitrógeno (N) como factores principales, y análisis de varianza del calibre en cada sitio considerando el N como factor principal.

Factor	Precipitación	Rendimiento	Contenido proteico	Calibre ⁺
	mm	Mg ha ⁻¹	%	% > 2.5 mm
Sitio 1	310	3.97 ± 0.20 ^{**}	9.8 ± 0.41	87.0 ± 1.87
Sitio 2	320	4.33 ± 0.28	8.4 ± 0.29	89.3 ± 0.84
Sitio 3	373	5.96 ± 0.16	8.7 ± 0.29	79.5 ± 3.13
Sitio 4	243	2.22 ± 0.15	11.0 ± 0.14	63.0 ± 0.26
N0		4.01	8.4	83.7
N1		4.02	9.5	79.1
N2		4.34	10.6	76.4
ANOVA		----- valor p -----		
Sitio		<0.01	<0.01	-
N		0.03	<0.01	-
Sitio x N		0.26	<0.01	-
Efecto N				
Sitio 1		-	<0.01	0.02
Sitio 2		-	0.14	0.01
Sitio 3		-	<0.01	0.04
Sitio 4		-	<0.01	0.20

⁺ ANOVA realizado por sitio debido a la heterogeneidad de varianza cuando se combinaban sitios.

^{**} Media ± error estándar.

pero el efecto fue significativo solamente en los sitios 1, 3 y 4 (interacción N x sitio significativo). Además, el calibre disminuyó por efecto de la fertilización nitrogenada en los sitios 1, 2 y 3.

El contenido proteico de la muestra completa se asoció negativamente con el calibre ($r = -0.58$) y el rendimiento ($r = -0.48$) (Figura 1). Cuando se consideraron los distintos niveles de N por separado el contenido proteico mostró una asociación más fuerte con el rendimiento ($R^2 = 0.61$) que con el calibre ($R^2 = 0.53$). Dado que el contenido proteico de la muestra completa aumentó con la fertilización nitrogenada y disminuyó con aumentos del rendimiento, se combinaron ambas variables mediante el cociente entre el Nd y el rendimiento del cultivo, un índice similar al propuesto por McKenzie et al. (2004). El contenido proteico aumentó con la mayor disponibilidad de N por tonelada de grano producida (Figura 1C).

El contenido proteico de todas las fracciones aumentó en respuesta a la mayor disponibilidad de N, en los 4 experimentos ($p < 0.01$). Solo en el sitio 4, las fracciones más finas presentaron contenidos proteicos significativamente mayores que las más gruesas (Figura 2, Tabla 2).

El contenido proteico de cada fracción aumentó linealmente en función del contenido proteico de la muestra completa (Figura 3, Tabla 3). Las pendientes de las funciones lineales ajustadas para las fracciones 1 y 2 fueron significativamente inferiores que las ajustadas para las fracciones 3 y 4 ($p < 0.05$). Esto indica que las fracciones gruesas (1 y 2) presentaron una tendencia menor a aumentar su contenido proteico respecto de las fracciones más finas (3 y 4), a medida que aumenta el contenido proteico de la muestra completa. Por lo tanto, las diferencias de contenido proteico de granos finos y gruesos se incrementaron cuando los contenidos proteicos de las muestras completas fueron altos. Por otro lado, la diferencia de contenido proteico entre granos finos y gruesos de cada muestra no estuvo relacionada con el calibre de la muestra ($R^2 = 0.06$, $p > 0.05$).

A partir del contenido proteico de cada fracción, se calculó cuanto disminuiría el contenido proteico de muestra completa si se eliminan las fracciones más finas (< 2.5 mm). Esta disminución en el contenido proteico de la muestra completa se asoció significativamente con el contenido proteico de muestra completa mediante una función segmentada (Figura 4). Cuando el contenido proteico de la muestra completa fue menor a 8.6%, la eliminación de las fracciones 3 y 4 no produjo ninguna variación en el contenido proteico de la muestra completa. Cuando el contenido proteico de la muestra completa fue mayor a 8.6%, la eliminación de las fracciones 3 y 4 disminuyó el contenido proteico de la muestra completa, y esta disminución aumentó linealmente con el contenido proteico de la muestra completa.

Discusión

En la región pampeana, al igual que en otras regiones agrícolas del mundo, el principal factor regulador de los rendimientos es la disponibilidad hídrica (Calviño y Sadras, 2002; Verón et al., 2004). No es extraño que, en este

Tabla 2. Análisis de varianza de los cuatro sitios, considerando la fracción de tamaño y el nitrógeno (N) como factores principales.

Factor	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
	valor p			
N	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Fracción de tamaño	0.02	0.16	0.18	<0.01
N x Fracción de tamaño	0.07	0.81	0.55	0.83

Tabla 3. Pendientes y coeficientes de correlación (R^2) de las funciones lineales ajustadas entre el contenido proteico de cada fracción de tamaño (%) y el contenido proteico de la muestra completa (%).

Fracción	Pendiente*	R^2
1	0.93 a	0.82
2	0.94 a	0.93
3	1.16 b	0.86
4	1.15 b	0.80

* Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

trabajo, los sitios con mayores precipitaciones tuvieran mayores rendimientos. Además, los sitios con mayores precipitaciones presentaron mayores calibres y menores contenidos proteicos en coincidencia con otros autores que han observado aumento de contenido proteico y disminución del calibre asociado a situaciones de estrés hídrico (Fathi et al., 1997; Savin et al., 1997). Podría interpretarse que, dada una determinada cantidad de N disponible, los mayores rendimientos generados durante los años con mayores precipitaciones generan un efecto de dilución del N en el grano (O'Donovan et al., 2011; Jedely Helm, 1994). En consecuencia, el contenido proteico de la muestra completa estuvo explicado por la disponibilidad de N por unidad de rendimiento obtenido tal como ha sido propuesto por McKenzie et al. (2004). Este cociente puede ser considerado como un índice de la abundancia relativa de N para la síntesis de proteína en el grano. Esta abundancia relativa de N puede aumentar tanto por una fertilización nitrogenada como por una caída de los rendimientos alcanzados.

En muestras provenientes de un determinado ambiente, los granos más pequeños tienen un contenido proteico mayor a los granos de mayor tamaño sólo cuando el contenido proteico de la muestra completa es superior a un umbral de 8.6%, es decir cuando provienen de ambientes con una alta abundancia relativa de N. En cultivos con contenidos proteicos bajos, esta diferencia no se observa. En coincidencia, Yin et al. (2002), observaron que en tratamientos con bajos contenido proteico de la muestra completa (obtenidos mediante fertilizaciones nitrogenadas tempranas), los granos apicales más finos no tenían contenidos proteicos distintos de los granos basales, más gruesos. En cambio, con alto contenido proteico de la muestra completa (obtenidos mediante fertilizaciones nitrogenadas tardías), los granos apicales tenían contenidos proteicos mayores que los granos basales. Otros autores no observaron diferencias de contenido proteico entre fracciones de calibre aún con contenidos proteicos medios superiores a 8.6% (Li et al., 2008). Es probable que este valor umbral, entonces, no sea universal, y que pueda

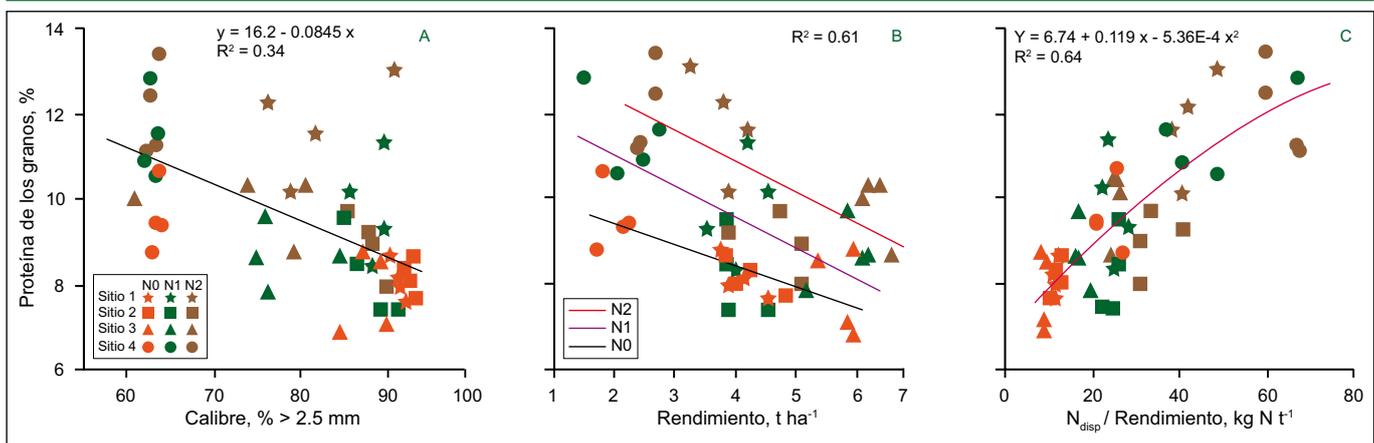


Figura 1. Contenido proteico de la muestra completa en función del calibre (> 2.5 mm) (A), del rendimiento del cultivo (Mg ha⁻¹) (B), y del cociente entre el nitrógeno disponible y el rendimiento del cultivo (kg N Mg⁻¹) (C). Cada punto representa una parcela.

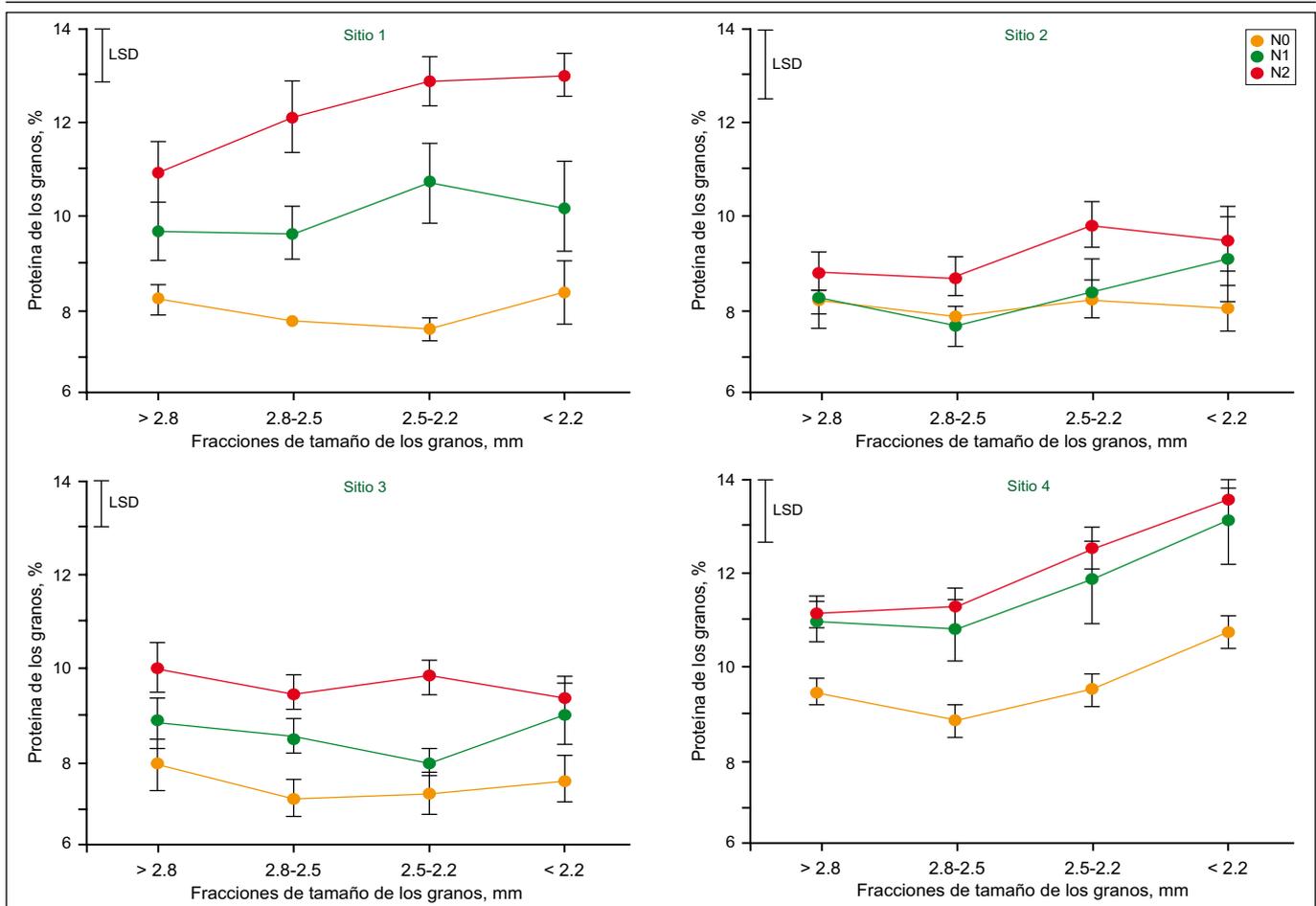


Figura 2. Contenido proteico de cada fracción de tamaño para cada nivel de nitrógeno disponible (N0: sin fertilización nitrogenada, N1: 100 kg N ha⁻¹, N2: 160 kg N ha⁻¹), en los cuatro sitios. Los puntos representan las medias de 4 parcelas y las barras verticales los errores estándar de la media. LSD: mínima diferencia significativa (p < 0.05).

depender del cultivar empleado.

Nuestros resultados muestran que el contenido proteico de los granos está principalmente determinado por la abundancia relativa de N de cada ambiente, y no por el tamaño de los granos (Figura 1C, Figura 3). Las diferencias observadas en contenido proteico entre granos de distinto tamaño de una misma parcela fueron muchos más pequeñas que las diferencias de proteína entre muestras que provenían de distintos ambientes, incluso en granos del mismo tamaño (Figura 3). La diferencia del contenido proteico de los granos entre las fracciones finas y gruesas

de muestras con contenido proteico de muestra completa mayor a 11% fue de 1.15%, lo que resulta una diferencia pequeña si se la compara con el efecto del ambiente, cuyo rango de variación que fue desde 6.8 hasta 13.4% (Figura 1, Figura 3). Por consiguiente, si después de la cosecha, se clasifican los granos eliminando los más pequeños puede, en algunos casos, disminuir levemente el contenido proteico de los granos pero difícilmente revierta el efecto del ambiente del cultivo sobre esta característica del cereal. Nuestros resultados sugieren que el hecho que las partidas de granos de bajo calibre suelen tener altos contenidos de

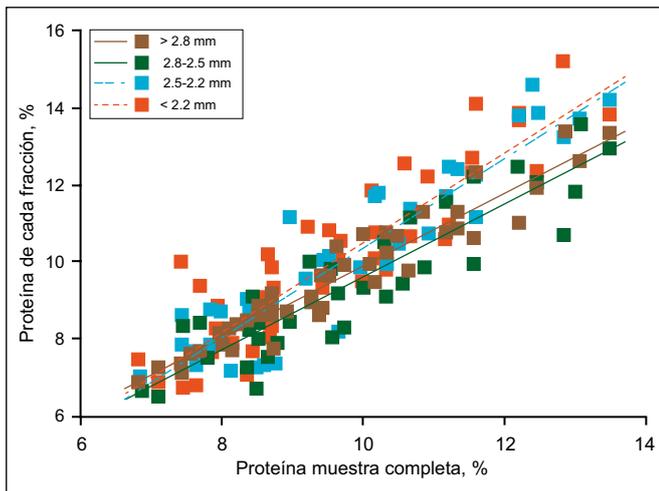


Figura 3. Contenido proteico de cada fracción en función del contenido proteico de la muestra completa. Cada punto representa a una fracción de tamaño en una muestra.

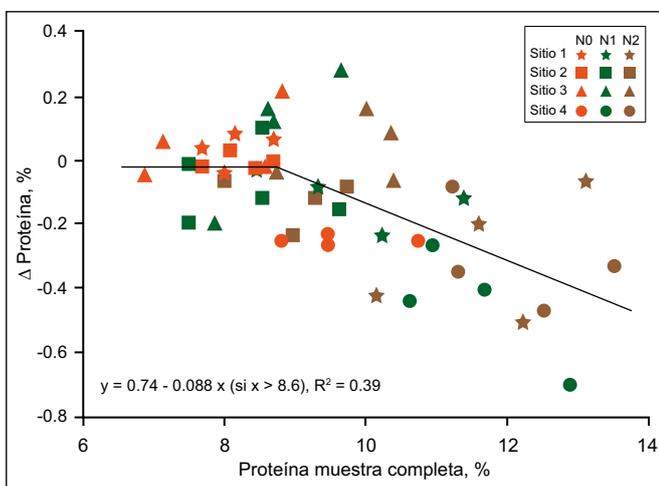


Figura 4. Cambio en el contenido proteico de la muestra cuando se excluyen de ella los granos más finos (< 2.5 mm), en función del contenido proteico inicial de la muestra completa.

proteínas no se debe a la mayor proporción de granos finos de esas partidas. Es probable que esas partidas con alta proteína y bajo calibre provengan de ambientes con una alta abundancia relativa de N dada por una fertilización nitrogenada o por un bajo rendimiento causado por un stress post-anthesis. Estos dos factores pueden causar una simultánea caída del calibre y aumento del contenido de proteína, como se observa en el Sitio 4 (Figura 2), dando por resultado partidas con una alta proporción de granos finos y alto contenido de proteína.

Bibliografía

Baethgen, W.E., y M.M. Alley. 1989. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20:961-969.

Bishop, L.R. 1930. Statistical studies of the analytical data accumulated in the course of the barley investigations. *J. Inst. Brew.* 36:421-434.

Briggs, D.E. 1998. *Malts and malting*. Blackie Academic y Professional. Londres. 796 p.

Calviño, P., y V.O. Sadras. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. *Field Crops Res.* 74:1-11.

Cattáneo, M. 2011. Los mercados de cebada cervecera en la Argentina

y en el mundo. En: D.J. Miralles, R.L. Benech Arnold y L.G. Abeledo (eds.). *Cebada cervecera*. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. pp. 275-284.

De Ruiter, J.M. 1999. Yield and quality of malting barley (*Hordeum vulgare* L. "Valetta") in response to irrigation and nitrogen fertilisation. *New Zealand J. Crop. Hort. Sci.* 27:307-317.

De Ruiter, J.M., y R.M. Haslemore. 1996. Role of nitrogen and dry matter partitioning in determining the quality of malting barley. *New Zealand J. Crop. Hort. Sci.* 24:77-87.

Ellis, R.P., y B. Marshall. 1998. Growth, yield and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) in response to nitrogen uptake. II. Plant development and rate of germination. *J. Exp. Bot.* 49:1021-1029.

Fathi, G., G.K. McDonald, y R.C.M. Lance. 1997. Effect of post-anthesis water stress on the yield and grain protein concentration of barley grown at two levels of nitrogen. *Aust. J. Agric. Res.* 48:67-80.

Grashoff, C., y L.F. d'Antuono. 1997. Effect of shading and nitrogen application on yield, grain size distribution and concentrations of nitrogen and water soluble carbohydrates in malting spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Eur. J. Agron.* 6:275-293.

Jedel, P.E., y J.H. Helm. 1994. Assessment of western Canadian barleys of historical interest: I. Yield and agronomic traits. *Crop Sci.* 34:922-927.

Li, Y., P.B. Schwarz, J.M. Barr, y R.D. Horsley. 2008. Factors predicting malt extract within a single barley cultivar. *J. Cereal Sci.* 48:531-538.

McKenzie, R.H., A.B. Middleton, L. Hall, J. DeMulder, y E. Bremer. 2004. Fertilizer response of barley grain in south and central Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 84:513-523.

Newman, R.K., y C.W. Newman. 2008. *Barley for food and health: science, technology, and products*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, U.S.A. 245 p.

O'Donovan, J.T., T.K. Turkington, M.J. Edney, G.W. Clayton, R.H. McKenzie, P.E. Juskiw, G.P. Lafond, C.A. Grant, S. Brandt, K.N. Harker, E.N. Johnson, y W.E. May. 2011. Seeding rate, nitrogen rate, and cultivar effects on malting barley production. *Agron. J.* 103:709-716.

Pomeranz, Y., N.N. Standridge, E.A. Hocket, D.M. Wesenberg, y G.D. Booth. 1976. Effects of nitrogen fertilizer on malting quality of widely varying barley cultivars. *Cereal Chem.* 53:574-585.

Prystupa, P., G. Ferraris, T. Loewy, F.H. Gutiérrez Boem, L. Ventimiglia, L. Couretot, y R. Bergh. 2012. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. 16-20 de abril de 2012. Actas en CD.

Ross, F., J. Massigogé, y M. Zamora. 2011. Fertilización de cebada cervecera en ambientes con tosca en el sur de Buenos Aires, Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 3:9-13.

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

Savin, R., P.J. Stone, M.E. Nicolas, y I.F. Wardlaw. 1997. Grain growth and malting quality of barley. 1. Effects of heat stress and moderately high temperature. *Aust. J. Agric. Res.* 48:615-624.

Verón, S.R., J.M. Paruelo, y G.A. Slafer. 2004. Interannual variability of wheat yield in the Argentine Pampas during the 20th century. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103:177-190.

Weston, D.T., R.D. Horsley, P.B. Schwarz, y R.J. Goos. 1993. Nitrogen and planting effects on low-protein spring barley. *Agron. J.* 85:1170-1174.

Yin, C., G.P. Zhang, J.M. Wang, y J.X. Chen. 2002. Variation of Beta-amylase activity in barley affected by cultivar and environment and its relation to protein content and grain weight. *J. Cereal Sci.* 36:307-312. ✪

La nutrición de cebada cervecera en Argentina: Mejores prácticas de manejo de la fertilización

Laureano Boga¹

Introducción

La superficie de cebada cervecera (*Hordeum distichum* L.) aumentó considerablemente en los últimos años en la Argentina debido a las ventajas de comercialización y agronómicas respecto al trigo. Sin embargo, este crecimiento puede no estar acompañado de adecuadas prácticas de manejo nutricional necesarias para alcanzar los objetivos de producción y porcentaje de proteína (PP) requeridos por las malterías. El estudio del manejo nutricional de los cultivos puede ser abordado en base a las mejores prácticas de manejo de nutrientes y fertilizantes (MPM), definidas como la dosis y la fuente de nutrientes aplicados en la forma y momento correctos (Bruulsema et al., 2008). El objetivo de esta revisión fue discutir las MPM de la fertilización en el cultivo de cebada. Para ello, se describió la dinámica de acumulación de los principales nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo, se determinaron qué factores afectan dicha dinámica y se evaluaron los métodos de diagnóstico empleados en la actualidad, marcando diferencias y similitudes con trigo.

Nitrógeno

Dinámica de acumulación y eficiencia de utilización

En general, se supone que la dinámica de acumulación de N en cebada sería similar al trigo por ser ambos cultivos invernales. Para el sudeste bonaerense, se muestra que un cultivo de trigo acumula más N total que cebada pero a una tasa menor (Figura 1).

Diferentes estudios evidencian que la absorción pre-antesis sería de mayor importancia para el cultivo de cebada respecto a trigo. Vera Núñez et al. (2002)

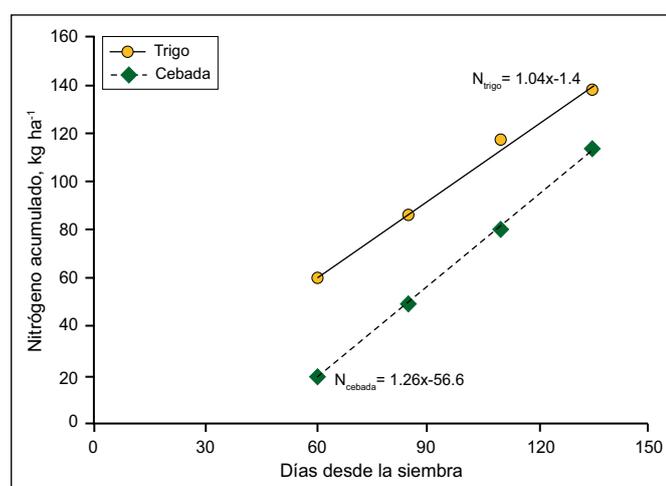


Figura 1. Acumulación de nitrógeno para trigo y cebada fertilizados en el sudeste bonaerense. Adaptado de Echeverría y García (2005).

determinó que la cantidad total de N acumulado en cebada bajo riego hasta floración fue 80% del N total a madurez fisiológica. Para trigo, Golik et al. (2002) determinaron que el N total acumulado en antesis relativo al total a madurez fue del 64 y 72% para aplicaciones de 0 y 160 kg de N, respectivamente.

Respecto de la partición del N, la mayor parte del N en grano de cebada proviene de la removilización del N absorbido en pre-antesis (Dordas, 2011). A diferencia de trigo, el autor no observó incrementos en el nivel de N en grano en cebada por efecto de las aplicaciones de N en postfloración. Por otra parte, para asimilados, Evans y Wardlaw (1980) determinaron un 5-10% y 30% de removilización en trigo y cebada, respectivamente. En síntesis, para el cultivo de cebada la absorción preantesis de N y su posterior removilización jugarían un rol fundamental al momento de definir el contenido de N en grano.

La eficiencia de utilización de N (EUN, kg de grano por kg de N aplicado) es definida como el producto entre la eficiencia de absorción de N (EAN, kg N absorbido por kg de N aplicado) y la eficiencia fisiológica (EFN, kg de grano por kg de N absorbido). Delogu et al. (1997), comparando cebada de seis hileras con trigos de invierno, determinó mayor rendimiento, EUN e índice de cosecha de N (ICN) de cebada respecto a trigo para una misma dosis de N (Figura 2). La mayor EUN en cebada fue explicada por una mayor EFN (32 y 8% para 0 y 140N, respectivamente).

Bingham (2011) determinó diferencias en el patrón de acumulación de N entre genotipos de cebada, asociado posiblemente a la variación en el IC. Similares resultados han sido reportados por Berthodlsson y Brantestam (2008) para variedades de cebada originarias de Suecia y Dinamarca en donde el IC varió entre 42 y 55% desde 1900 a 2005. Esto permitiría hipotetizar que los cultivares más modernos tendrían mayor IC y fijarían mayor cantidad de destinos (número de granos), induciendo una mayor absorción de N postfloración y alterando la relación entre removilización y absorción (Abeledo et al., 2007).

En síntesis, la diferente dinámica de acumulación de N en cebada respecto a trigo debería ser considerada al momento de definir los métodos de diagnóstico o de monitoreo de dicho nutriente para el cultivo. Los mismos debieran poder relacionar la disponibilidad de N en biomasa en prefloración con el rendimiento y/o contenido de proteína en grano.

Métodos de diagnóstico y respuesta

En la actualidad, los métodos más difundidos en Argentina para la recomendación de N en cebada se

¹ Mosaic Argentina, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: laureano.boga@mosaicco.com

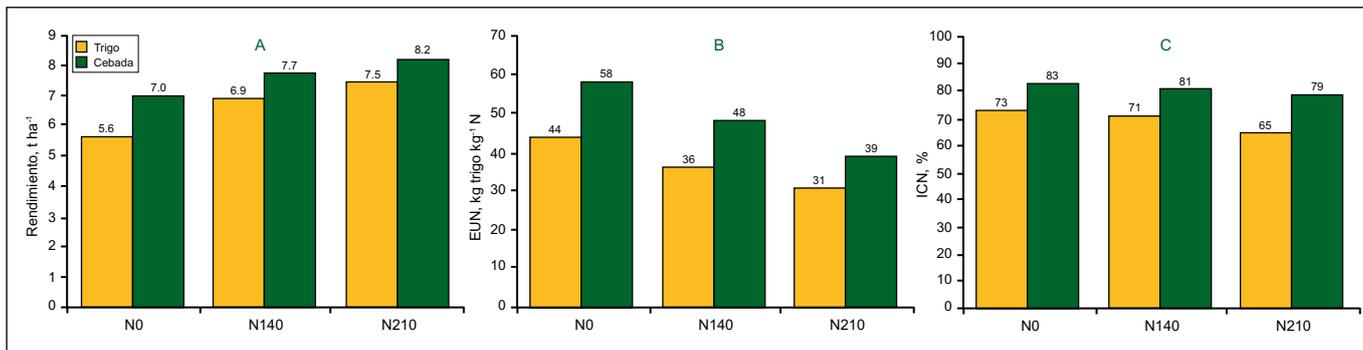


Figura 2. Rendimiento (A), EUN (B) e índice de cosecha de nitrógeno (C) para trigo y cebada en función de la disponibilidad de N. Adaptado de: Delogo et al. (1997).

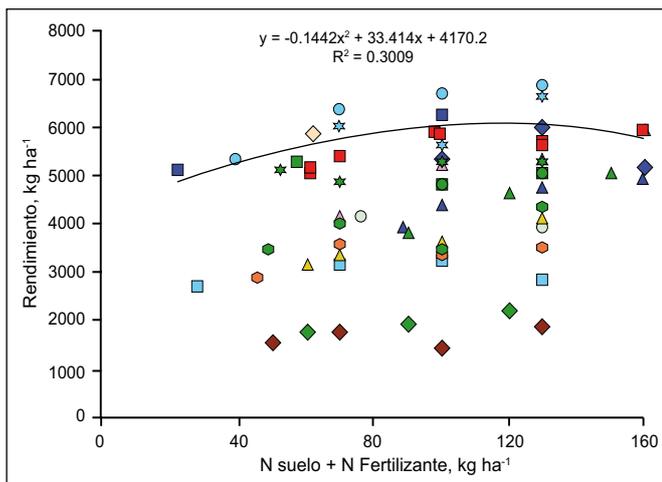


Figura 3. Rendimiento de cebada en función del contenido de N inicial en suelo (0-60 cm) + N del fertilizante (Prystupa y Ferraris, 2011).

basan en la determinación del contenido de N-nitratos (0-60 cm) en suelo a la siembra del cultivo. Se han propuesto distintos niveles (umbrales) de disponibilidad de N a la siembra (suelo+fertilizante), con los cuales se alcanza el rendimiento máximo según las zonas. Para el sudeste de Buenos Aires, González Montaner (2009) determinó umbrales desde 150 hasta 175 kg N ha⁻¹, mientras que para el sudoeste y centro de la provincia se determinaron niveles críticos de 100 y 130 kg N ha⁻¹, respectivamente (Prystupa, 2005). Sin embargo, la capacidad predictiva de dicha metodología con fines de recomendación ha sido cuestionada (Prystupa et al., 2006).

Los mismos autores en una red de ensayos realizados con la variedad Scarlett, determinaron respuestas significativas desde 24 hasta 45% en rendimiento a N, no obstante, la disponibilidad de N en suelo explicó solo el 30% de la variabilidad (Figura 3). Similares asociaciones fueron observadas por Lazzari (2005) para el sudoeste y centro de provincia de Buenos Aires con la variedad *Quilmes Palomar*. Una hipótesis es que esta metodología no considera en forma directa los aportes de N por mineralización y estos podrían ser muy distintos en función del cultivo antecesor, el nivel de materia orgánica (MO) y el sistema de labranza (Studdert y Echeverría, 2000). Para el cultivo de trigo en el sudeste bonaerense, Reussi Calvo et al. (2013) reportaron que la asociación

entre la disponibilidad N a la siembra (suelo+fertilizante) y el rendimiento del trigo aumentó del 24 al 66% cuando se incorporó el N incubado en anaerobiosis durante 7 días a 40 °C (Nan) como estimador del aporte de N por mineralización. Similares resultados han sido reportados por Mengel (2005), quien obtuvo mejoras en el diagnóstico de N cuando incorporó una fracción de N orgánico asociada con el aporte de N por mineralización.

Para las condiciones del sudeste de Buenos Aires, Ross (2012) determinó interacción significativa entre el año, la localidad y la dosis de N sobre el rendimiento y PP. Similares resultados fueron reportados por Prystupa y Ferraris (2011) quien mediante el empleo de modelos de regresión múltiple que integran la disponibilidad de N, las lluvias de octubre y el contenido de MO explicaron más del 40% ($p < 0.01$) de la variación en rendimiento y PP. Estos trabajos evidencian que existen otros factores que condicionan la respuesta en rendimiento y en PP además de la disponibilidad inicial de N (suelo+fertilizante) medida a la siembra del cultivo.

Considerando las limitaciones de utilizar solamente la determinación del N a la siembra del cultivo como único método de diagnóstico, se han explorado otras metodologías para tal fin como el medidor de clorofila SPAD, la curva de dilución de N y los modelos de simulación. El medidor de Clorofila SPAD podría ser considerado una alternativa para el diagnóstico de N en cebada. González Montaner (2009) en cebada, reportó que la determinación de SPAD en hoja bandera explicó el 60% de la variación en el contenido de proteína en grano (Figura 4). En situaciones contrastantes de suministro de N (0, 100 y 300 kg N ha⁻¹), se observó que la lectura de SPAD (cerca de floración) explicó el 64.7% de las variaciones en rendimiento (Pagola, 2008). Por lo tanto, el medidor de clorofila SPAD sería una herramienta válida para predecir rendimiento y PP en cebada. No obstante, surge la necesidad de generar calibraciones locales para determinar el momento de lectura y desarrollar los modelos que permitan predecir el rendimiento, la respuesta a N y, por ende, la dosis de N a aplicar.

Otra alternativa para el diagnóstico de N en cebada es el empleo de la curva de dilución crítica de N. Esta permite calcular el índice de nutrición nitrogenada (INN) definido

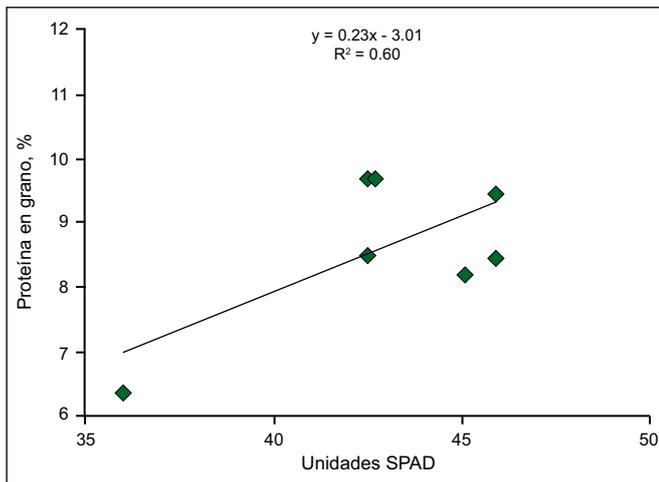


Figura 4. Porcentaje de proteína en función del valor de SPAD en hoja bandera de cebada. Adaptado de González Montaner (2009).

como la relación entre la concentración de N actual para una determinada fase fenológica del cultivo y la crítica que no limita la producción de biomasa para el mismo periodo (Lemaire, 2008). Esta metodología presenta como desventaja el tiempo que insume, por lo que su empleo como método de rutina es limitado. En la actualidad, existen métodos indirectos que reflejan satisfactoriamente el INN. Los sensores remotos que integran mediciones de N con índice de área foliar (IAF) son los que mejor reflejan el INN, y representan una herramienta promisoriosa de monitoreo y corrección de N en etapas tempranas del ciclo de cultivo (Lemaire, 2008). En cebada, para el estadio de 3 nudos, se determinó que la integración de las lecturas de índice de verdor (IV) con los días de atraso de la fecha de siembra respecto a la óptima, explicaron el 73% de la variación en PP independientemente del nivel de N aplicado (Petterson, 2007). En base a estos resultados, los sensores remotos reflejarían adecuadamente el INN aunque dichas determinaciones debieran ser usadas integrándolas con otros indicadores como fue propuesto por Petterson (2007).

Otra herramienta a tener en cuenta dentro de los métodos de diagnóstico de N es el uso de modelos de simulación. Travasso y Magrin (1998) mencionan que el modelo CERES (de la familia DSSAT) simula en forma adecuada el crecimiento del cultivo de cebada para un amplio rango de ambientes de modo que podría ser empleado en dicho cultivo con fines de diagnóstico de N.

Momento de aplicación

Uno de los aspectos a considerar para definir las estrategias de fertilización nitrogenada en cebada, es determinar el momento correcto de aplicación de N con el objetivo de maximizar la EUN. Para esto es necesario sincronizar la disponibilidad de N con la demanda del cultivo, para lograr buenas coberturas foliares al comienzo del periodo crítico de definición de rendimiento. En trigo, dicho período comprende desde 20-30 días pre-antesis y 10 días post-antesis (García y Berardo, 2005), sin

embargo, para cebada dicho periodo se situaría 10 días antes respecto a trigo (Arisnabarreta y Miralles, 2000). Por otro lado, las estrategias de fertilización deberían considerar el requisito de mantener un determinado nivel de N en grano acorde a los estándares industriales. En cebada, el rendimiento se construye a partir de relaciones entre el número de macollos logrados hasta Zadocks-30 que originarán un determinado número de espigas, con un determinado número de granos por espiga. Estos parámetros combinados dan como resultado el número de granos por metro cuadrado, fuertemente asociado con el rendimiento del cultivo (Baethgen et al., 1995). En general, las aplicaciones tempranas (siembra o Zadocks-22) tienen alto efecto sobre el número de macollos, mientras que en Zadocks-30 afectan el número de granos por espiga (Baethgen et al., 1995). Además, Prystupa y Ferraris (2011) determinaron que las aplicaciones foliares de N durante espigazón fueron 25% más efectivas que las aplicaciones durante macollaje para aumentar el PP. Esto sugiere la posibilidad de combinar en los programas de fertilización de cebada, las aplicaciones tempranas de N (emergencia-Zadocks-30) con las foliares durante espigazón, con el objetivo de lograr altos rendimientos con adecuados PP acorde a los requerimientos de la industria.

Fuente y forma de aplicación

A nivel país, el 80% de la producción de cebada proviene de la región centro sur de la provincia de Buenos Aires (Tomasso, 2003), geográficamente y temporalmente coincidente con la zona triguera. Por lo tanto, es esperable que las condiciones que pudieran generar pérdidas de N afectando la EUN y la eficiencia de las distintas fuentes de N en cebada fueran similares a las determinadas para trigo.

Para las condiciones del sur de Santa Fe, Fontanetto et al. (2011) determinaron diferencias significativas en EUN en cebada por efecto de las fuentes de N. La EUN fue de 21.9, 18.3 y 12.7, para urea tratada con inhibidor de la ureasa, UAN y Urea, respectivamente. Similares resultados fueron reportados para trigo en dicha región (Fontanetto et al., 2007).

En síntesis, estos trabajos sugieren que los mismos factores que condicionan la EUN en trigo estarían actuando para el cultivo de cebada.

Fósforo

Dinámica de acumulación

A pesar de la distinta fecha de floración, tanto en trigo como en cebada, las deficiencias de P reducen el número de granos y biomasa en espiga durante el periodo crítico del cultivo (Prystupa, 2005). La dinámica comparada de absorción de P en trigo y cebada sugiere patrones de acumulación diferentes para una misma disponibilidad de P. Ambas especies llegan a antesis con similares cantidades de P, no obstante, presentan diferentes

tasas de acumulación antes de dicho periodo. La cebada muestra una mayor tasa de acumulación hasta los 60 días desde la siembra respecto a trigo. Estas diferencias podrían deberse a la habilidad que tienen algunos genotipos de cebada para producir ácidos orgánicos en sus raíces que aumentan la disponibilidad inicial de P proveniente de fracciones menos lábiles, las cuales se vuelven disponibles para el cultivo (Tara, 2000).

La acumulación de P afecta la cantidad de macollos formados y, posteriormente, el número de espigas, factores estrechamente asociados al número de granos y el rendimiento (Prystupa y Ferraris, 2011). Para más de 15 variedades de cebada creciendo bajo condiciones experimentales y disponibilidades contrastantes de P, Römer (1998) determinó que la absorción de P hasta la mitad de macollaje (Zadocks-25) explicó el 71% de la variación del rendimiento. Estos resultados sugirieron que la absorción temprana es un factor relevante para el desarrollo de macollos y espigas. Por lo tanto, la cebada sería más sensible a deficiencias de P en etapas tempranas respecto a trigo, razón por la cual la especie ha desarrollado mecanismos para asegurarse el abastecimiento de dicho nutriente antes de llegar al estadio de Zadocks-25. Ferraris et al. (2012) determinaron, para 12 sitios con variada disponibilidad de P de la región pampeana centro-norte, que la respuesta en rendimiento de cebada fue 30% mayor respecto a trigo, con niveles de eficiencia de uso de P (EUP) promedio de 40.3 y 33.0 kg grano kg⁻¹ de P, respectivamente. Similares resultados fueron observados por Valkama (2009). No obstante, es necesario considerar el efecto de la variedad de cebada sobre la EUP (Tara, 2000). La mayor susceptibilidad de la cebada a la deficiencia de P respecto al trigo, se explicaría por la mayor limitación del cultivo de cebada para alcanzar y mantener el IAF crítico durante el periodo de definición de rendimiento (Ferraris et al., 2012).

Métodos de diagnóstico

Al igual que en trigo, el manejo de la fertilización fosforada en cebada podría realizarse siguiendo el criterio de suficiencia, en donde la dosis de P máxima es aquella que genera el máximo rendimiento económico, o a través del criterio de reposición en donde la fertilización tiene como objetivo llegar y mantener un determinado nivel de P en el suelo donde se logra el rendimiento máximo del cultivo. Sin embargo, para cebada aún no se han realizado calibraciones para el criterio de suficiencia ni tampoco se determinó el umbral para el criterio de reposición (Prystupa y Ferraris, 2011).

Momento de aplicación

Considerando el patrón de acumulación de P en cebada, el momento óptimo debería ser aquel que asegure un nivel de P extractable en el suelo no limitante antes de Zadocks-25, momento en el cual este nutriente tiene alto impacto en la supervivencia del número de macollos (Prystupa y Ferraris, 2011).

Para las condiciones de la región pampeana, García et al. (2005) determinaron que la aplicación de P vía fertilizantes fosfatados resulta en un incremento de los niveles de P extractable del suelo en función de la dosis aplicada y que la variación del contenido de P en el suelo fue explicada principalmente por el nivel de extracción de los cultivos, validando el concepto de residualidad de este nutriente. Por lo tanto, el momento de aplicación de P podría situarse desde la cosecha del cultivo antecesor hasta el momento de la siembra. La escasa movilidad del P en el suelo es otro factor a tener en cuenta para definir si la aplicación de P puede ser realizada en bandas al momento de la siembra (BS) o al voleo en forma anticipada (VA). La aplicación BS tiende a presentar mayor EUP en suelos con alta capacidad de fijación, bajo contenido de P y para dosis bajas, mientras que las aplicaciones VA muestran EUP iguales a BS en suelos no fijadores, con niveles de P Bray-1 mayores a 8-10 mg kg⁻¹, dosis de P mayores a 20 kg ha⁻¹, sistemas de siembra directa sin cobertura excesiva y lluvias post aplicación superiores a 50 milímetros (Ciampitti et al., 2009). Otro aspecto a considerar para las aplicaciones BS es la fitotoxicidad de los fertilizantes, la cual es ocasionada por el efecto salino y/o la emisión de amoníaco. Para trigo y cebada, aplicaciones junto con la semilla de dosis de fosfato diamónico (FDA) superiores a 55 kg ha⁻¹ podrían causar disminuciones del 20% en la población de plantas (Ciampitti et al., 2006).

En síntesis, el momento de aplicación de P en cebada podría ser diferente respecto a trigo por las siguientes cuestiones: i) La mayor demanda de P en los primeros estadios de desarrollo de la cebada (**Figura 5**), ii) La cebada generalmente va seguida de un cultivo de soja de segunda el cual presenta mayores expectativas de rendimiento que sobre trigo debido al adelanto en la fecha de siembra (Calviño et al., 2003). Por lo tanto, a rendimientos equivalentes de cebada y trigo, el mayor rendimiento de soja de segunda sobre cebada produciría una mayor demanda de P que debiera ser compensada con una mayor dosis de fertilizante. En dicha situación, las aplicaciones VA o combinadas con BS podrían ser más efectivas.

Fuente y forma de aplicación

A diferencia de lo descrito para N, en donde el tipo de fuente puede tener influencia en la EUN, para el caso de P las reacciones en el suelo tienen mayor importancia que la fuente utilizada (García et al., 2005). Por lo tanto, el criterio de selección de fuentes fosforadas para cebada no debiera ser distinto a trigo.

Azufre

Dinámica de acumulación

La dinámica de la acumulación de S en cebada se analizará en relación a N, debido a la estrecha asociación entre las vías de absorción y acumulación de ambos nutrientes (Echeverría, 2005; Reussi Calvo y Echeverría, 2009). En la

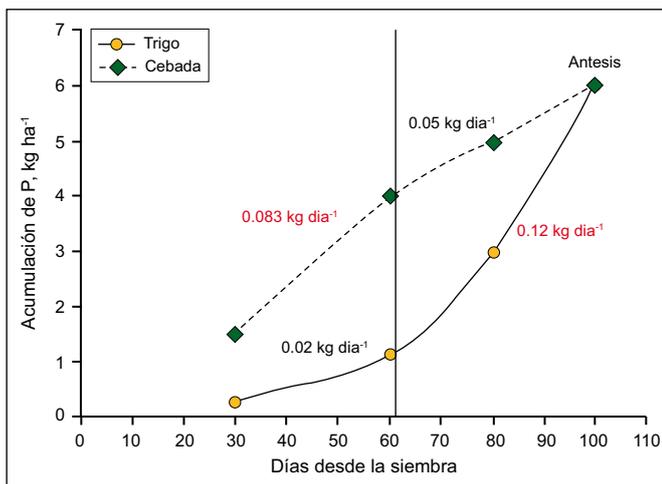


Figura 5. Acumulación de P para trigo y cebada en función de los días desde la siembra para un suelo con 15 mg P kg⁻¹. Adaptado de Echeverría y García (2005) y Tara (2000).

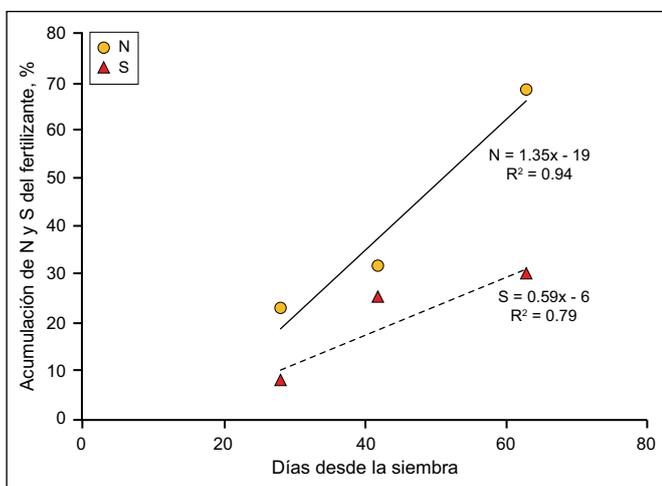


Figura 6. Acumulación de nitrógeno (N) y azufre (S) del fertilizante en cebada. Adaptado de Vera Nuñez et al. (2002) y Vong (2007).

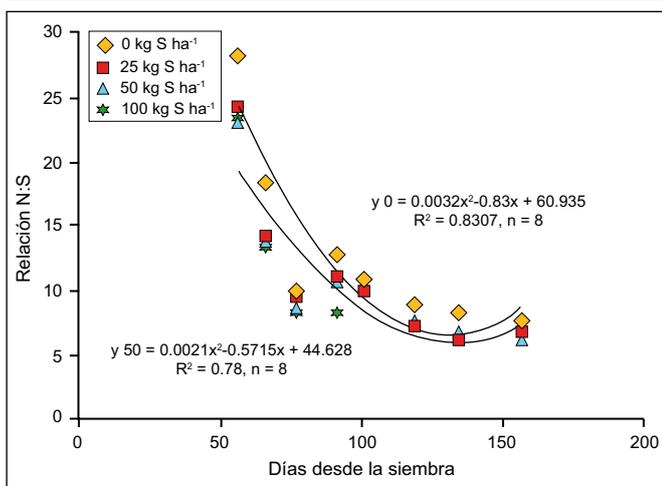


Figura 7. Evolución de la relación N:S en hoja de cebada (Grzebisz, 2007).

Figura 6 se presenta el porcentaje de acumulación de N y S del fertilizante hasta los 60 días desde la siembra para el cultivo de cebada (Vera Nuñez et al. 2002; Vong, 2007). En la misma se observa que la acumulación de S sería

demorada respecto a N, resultados que coinciden con los determinados en trigo por Reussi Calvo y Echeverría (2009) y en maíz por Pagani et al. (2009). Para cebada, Grzebisz (2007) obtuvo disminuciones en la relación N:S en hoja a lo largo del ciclo del cultivo en situaciones de alta como de baja disponibilidad de S (Figura 7), lo que sugiere una acumulación más tardía de S respecto a N.

Esta acumulación más tardía de S relativa a N podría estar relacionada a que el S es un nutriente poco móvil en la planta (Echeverría, 2005). Sin embargo, cuando solo se considera el N y S proveniente del fertilizante, una condición de stress hídrico podría demorar la acumulación de N alterando las diferencias entre los momentos de acumulación de estos nutrientes (Echeverría, 2013, com. personal). En base a esto la absorción de S desde el suelo durante el ciclo del cultivo sería más importante que la removilización.

Métodos de diagnóstico

Un aspecto a definir para el diagnóstico de S en cebada es conocer la magnitud de la respuesta esperada en rendimiento a la aplicación de dicho nutriente. Para las condiciones de Inglaterra se reportaron respuestas en rendimiento a S entre 5 y 30%, tanto en trigo como en cebada para aplicaciones de 20 kg S ha⁻¹ (Zhao, 2002). En general, las respuestas para el cultivo de cebada fueron de mayor magnitud y frecuencia respecto a trigo debido a que dicho cultivo se siembra en ambientes de menor fertilidad. Otro aspecto relacionado a la respuesta a S en cereales es el nivel de rendimiento del cultivo. En Argentina, para una red de ensayos de cebada realizada en la región pampeana, se observaron respuestas significativas a S en el 20% de los casos, particularmente en ambientes de mayor potencial de rendimiento, siendo la magnitud de la misma de 593 kg ha⁻¹ (Prystupa y Ferraris, 2011). Otro factor a considerar para evaluar la respuesta a S es la interacción con N. Para trigo, Salvagiotti et al. (2009) determinaron que la aplicación de S produjo incrementos en la biomasa y el rendimiento *per se* y que, además, evidenció interacción positiva con el N. Similares resultados fueron determinados en cebada por Veliz (2010), respecto a la concentración de proteína en grano.

En la actualidad, no se ha logrado desarrollar un método de diagnóstico de deficiencias de S basado en el análisis de suelo lo suficientemente robusto, económico y rápido que permita caracterizar la disponibilidad de S para los cultivos. Esto se explicaría en parte por la poca precisión de los métodos, que además requieren equipamiento de elevado costo (inducción de plasma ICP, o cromatografía iónica) o requieren reactivos de elevado costo y son poco prácticos (colorimetría de azul de metileno). Por lo tanto, la aplicación de dicho nutriente se realiza rutinariamente con dosis de 10-15 kg S ha⁻¹ en áreas donde se han observado respuestas en los cultivos previos (Rasmussen y Kresge, 1986).

Para las condiciones de la región pampeana argentina, Prystupa et al. (2006) determinaron una respuesta promedio al agregado de S de 112 kg ha⁻¹, siendo baja la

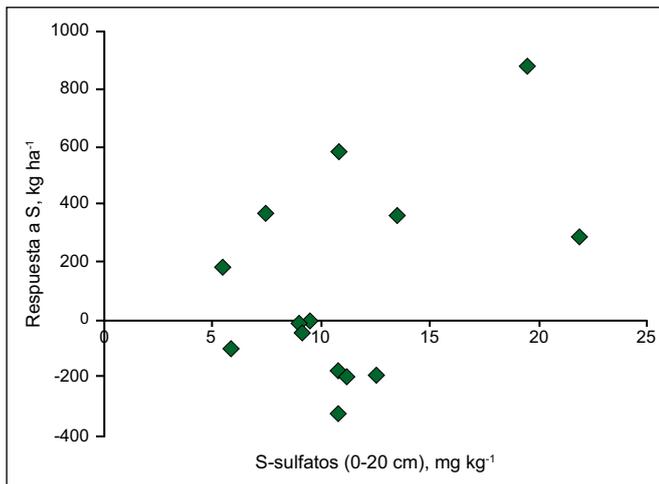


Figura 8. Relación entre la respuesta a S en cebada y la concentración de S-SO₄⁼ en suelo en los primeros 20 cm de profundidad (Prystupa et al., 2006).

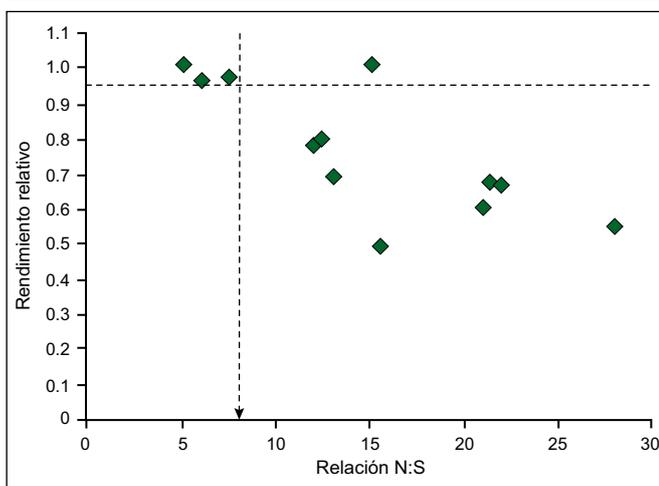


Figura 9. Rendimiento relativo en cebada en función de la relación N:S a fin de macollaje (Grzebisz, 2007).

asociación entre el nivel de S-sulfato en suelo a la siembra y la respuesta a S (**Figura 8**). Estos resultados sugieren que el método de análisis de suelo no representa una alternativa precisa para el diagnóstico de los requerimientos de S para los cultivos de invierno incluyendo cebada.

Los métodos basados en análisis de material vegetal podrían ser una alternativa para el diagnóstico de S, ya que determinan la cantidad de nutriente disponible para el cultivo en el momento de muestreo. Para trigo, la determinación de la relación N:S en biomasa aérea desde Z20 hasta Z39 mostró resultados alentadores para el diagnóstico de deficiencias de S en el SE Bonaerense (Reussi Calvo y Echeverría, 2009). Para cebada, Grzebisz (2007) determinó una relación N:S crítica de 8:1 en biomasa aérea a fin de macollaje (**Figura 9**), lo cual sugiere que esta metodología podría implementarse para el diagnóstico de S en dicho cultivo.

Fuente, forma y momento de aplicación

Al igual que para N y P, la selección de la fuente, forma y el momento adecuados para la aplicación de S debe estar orientada a lograr la mayor eficiencia de uso de este nutriente (EUS).

Al integrar las características de las fuentes con el tipo de suelo, suelos con pH mayor a 6, textura franco arenosas, altas precipitaciones post aplicación y utilización de fuentes como sulfato de amonio son las condiciones predisponentes para tener pérdidas de S por lavado de sulfatos, y como consecuencia, reducidas eficiencias del S aplicado (Reussi Calvo y Echeverría, 2009). Por el contrario, suelos molisoles con pH ligeramente ácido y alta saturación de bases intercambiables como Ca, minimizarían dichas pérdidas.

Si consideramos la acumulación demorada de S respecto de N, se tendría una mayor ventana de aplicación de S para el cultivo de trigo. Sin embargo, para cebada, el comienzo del período crítico de definición del número de granos, ocurre antes que en trigo, razón por la cual el intervalo entre aplicaciones debiera ser menor. La forma de aplicación guarda relación directa con la fuente y momento. En la medida que la aplicación se realice durante el período de macollaje, se recomienda aplicaciones al voleo empleando sulfato de calcio como fuente de S. Si se realizara en la línea de siembra, se recomienda aplicar el S en forma conjunta con P o mediante mezclas físicas o químicas.

Micronutrientes

Al evaluar la respuesta de los cultivos a los micronutrientes, el efecto del genotipo es un factor importante a ser considerado. A modo de ejemplo para boro (B) en cereales, Benjavan et al. (2003) determinó que la mayoría de los genotipos de trigo y cebada presentan respuesta a dicho nutriente en ambientes caracterizados como deficientes. Asimismo, Narwal (2012) determinó deficiencias moderadas de zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn) en trigo, de magnitud dependiente del genotipo. Esto sugiere la necesidad de considerar el genotipo en la aplicación de las MPM para micronutrientes, con posibles diferencias en el comportamiento de cebada respecto a trigo.

Se han documentado diferencias entre especies respecto a la sensibilidad a Zn, según el siguiente orden de mayor a menor sensibilidad: trigo candeal>avena>trigo pan>cebada >triticale>rye grass (Cakmak et al., 1999). La menor sensibilidad de cebada a Zn estaría relacionada a la capacidad de producir fitosideróforos a nivel de la rizósfera, sustancias relacionadas a la solubilización y movilidad de Zn (Fageria et al., 2001). Por otra parte, el Mn y el cobre (Cu) son micronutrientes que también limitan la producción de cebada (Mc Kemzie et al., 2004, Obrador et al., 2007). En Argentina, se reportaron incrementos en los contenidos de proteína en grano por efecto de la fertilización con Cu, aunque fueron variables según el sitio experimental (Prystupa et al., 2010). Para Mn, Pedas et al. (2008) reportaron diferente tolerancia de genotipos de cebada para crecer en ambientes deficientes en este micronutriente. Por otra parte, si consideramos un relevamiento reciente de suelos de la Región Pampeana Argentina (Sainz Rozas et al., 2013), el 50% de los mismos presentan valores inferiores a 0.9 mg kg⁻¹ de Zn, valor

considerado como umbral para extracciones con DTPA por Sims y Johnson (1991).

En referencia a los métodos de diagnóstico, Prochnow et al. (2009) cita como válidos los análisis foliares o de suelo, siendo los últimos menos robustos debido a la falta de calibración entre disponibilidad en el suelo y la respuesta de los cultivos. Para el diagnóstico foliar existe suficiente información sobre los niveles críticos de deficiencia pero no sobre los niveles críticos de toxicidad (Fageria et al., 2001).

Por otra parte, la menor dosis relativa de los micronutrientes respecto a los macronutrientes limita las posibilidades de aplicarlos solos, de modo tal que frecuentemente se emplean en forma conjunta con los macronutrientes o combinados con pesticidas, razón por la cual se necesita más información sobre las posibles interacciones (Fageria et al., 2001). A modo de ejemplo, la efectividad de un micronutriente como el Zn varía significativamente en función de la fuente utilizada (óxido o sulfato) y del macronutriente con el cual pueda estar combinada la aplicación (P o K) (Mc Laughlin et al., 2010).

Conclusiones

Las MPM de los nutrientes contemplan la aplicación de los conceptos de 4Rs (los 4 Requisitos), siendo indispensable para poder aplicar estos principios en el cultivo de cebada contar con información sobre: 1) requerimientos de nutrientes, 2) dinámica de acumulación, 3) métodos de diagnóstico precisos y 4) curvas de respuesta que permitan definir la dosis óptima económica. Esta revisión permitió identificar posibles líneas de investigación es pos de poder desarrollar y aplicar las MPM:

Para N: Calibrar una metodología de diagnóstico que además de considerar el N mineral inicial en suelo al momento de la siembra incluya estimadores de la mineralización. Además, evaluar el empleo de determinaciones indirectas de N en biomasa (SPAD o sensores) alrededor de macollaje para ajustar la dosis de N orientada a rendimiento y calidad.

Para P: Determinar los umbrales críticos de P en suelo para las principales zonas de producción del cultivo. Evaluar el efecto de los nuevos genotipos sobre la EUP.

Para S: Al igual que para N, es necesario desarrollar métodos de diagnóstico basado en el análisis de muestras de suelo y planta que permitan definir los requerimientos de S para el cultivo. Además, no hay registro de curvas de acumulación y dilución de este nutriente en el cultivo.

Para micronutrientes: Comenzar con ensayos exploratorios de respuesta a aquellos micronutrientes que presentan valores de disponibilidad por debajo del umbral citado en la bibliografía internacional (Ejemplo, Zn).

Bibliografía

Abeledo, G.L., D.F. Calderini, y G.A. Slafer. 2007. Nitrogen Economy in old an modern malting barley. *Field Crop Res.* 106:171-178.

Arisnabarreta, S., y D. Miralles. 2000. Período crítico en la generación

del rendimiento en líneas isogénicas de cebada. *Proc. IV Congreso Nacional de Cultivos de Siembra Otoño Invernal 2004 Bahía Blanca*, pp. 333-335.

Baethgen, E., B. Christianson, y A. García Lamothe. 1995. Nitrogen fertilizer effects on growth, grain yield, and yield components of malting barley. *Field Crops Res.* 43: 87-99.

Benjavan, R., N. Sunis, y J. Sansanee. 2003. Increasing boron efficiency in international bread wheat, triticale and barley germplasm will boost on soils low in boron. *Field Crops Res.* 86:175-184.

Bertholdsson, N.O., y A. Kolodinska Brantestam. 2008. A century of Nordic Barley breeding-Effects on early vigor root and shoot growth, straw length, harvest index and grain weight. *Eur. J. Agron.* 30:266-274.

Bingham, I.J. 2011. Analysis of improvements in nitrogen efficiency associated with 75 years of spring barley breeding. *Eur. J. Agron.* 42:49-48.

Bruulsema, T.W., C. Witt, F.O. 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, EE.UU.

Calviño, P.A., V.O. Sadras, y F. Andrade. 2003. Development, growth and yield of late sown soybean in the southern Pampas. *Eur. J. Agron.* 19:265-275.

Cakmak, I., M. Kalayci, H. Ekiz, H.J. Braun, H.J., I. Kilinc, y A. Yilmaz. 1999. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey. A NATO-Science for stability project. *Field Crop Res.* 60:175-188.

Ciampitti, I.A., G. Rubio, L.I. Picone, y F.O. García. 2009. El fósforo en la agricultura: Mejores prácticas de manejo (MPM). Simposio Fertilidad 2009. IPNI Cono Sur y Fertilizar A.C., Rosario: 35-51.

Ciampitti, I.A., F.G. Micucci, H. Fontanetto, y F.O. García. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos fitotóxicos. *Archivo Agronómico* No. 10:1-8.

Delogu, G., L. Cattivelli, N. Pechioni, D. de Falcis, T. Maggiore, y A.M. Stanca. 1997. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *Eur. J. Agron.* 9:11-20.

Dordas, C. 2011. Variation in dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in barley as affected by fertilization, cultivar, and source-sink relations. *Eur. J. Agron.* 37:31-42.

Echeverría, H.E. 2005. Azufre. En: Echeverría, H.E., y García, F.O. (eds.) *Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina pp. 139-160.

Echeverría, H.E., y F.O. García. 2005. *Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. 525 p.

Evans, L.T., e I.F. Wardlaw. 1980. Aspects of the comparative physiology of grain yields in cereals. CSIRO, Division of plant industry, Australia, 58 p.

Fageria, N.K., B.C. Baligar, y R.B. Ang Clark. 2001. Micronutrients in Crop Production. *Adv. Agron.* 7:185-267.

Ferraris, G.N., F. Mousegne, M. Barraco, L. Couretot, J. Cavo, R. Falconi, O. Ferraris, E. Lemos, M. Lopez De Sabando, G. Magnone, A. Maertini, P. Melilli, A. Paganini, G. Perez, R. Pontoni, J. Zanettini, C. Scianca, R. Sola, M.G. Telleria, y L. Ventimiglia. 2012. Rendimiento y eficiencia comparativa de uso de fósforo, nitrógeno y agua en trigo y cebada cervicera en la región centro y noroeste de Buenos Aires. Área de Desarrollo Rural. INTA Proyecto Regional Agrícola, CRBAN. 12 p.

Fontanetto, H., O. Keller, O. Quaino, L. Bellotti, C. Negro, y D. Giailevra. 2007. Trigo en siembra directa: formas de aplicación, dosis y fuentes nitrogenadas. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. *Publicación Miscelánea* (107):17-20.

Fontanetto, H., S. Gambaudo, O. Keller, E. Weder, M. Sillón, G. Gianetto, G. Meroi, G. Berrone, M. Meyer, C. Canepa, y P. Ruffino. 2011. Formas de aplicación, dosis y fuentes nitrogenadas en cebada. *Publicación Miscelánea INTA Rafaela* 119: 93-99.

- García, F.O., y A. Berardo. 2005. Trigo. En: Echeverría, H.E., y García, F.O. (eds) Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina pp. 233-253.
- García, F.O., L.I. Picone y A. Berardo. 2005. Fósforo. En: Echeverría, H.E., y García, F.O. (eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina pp. 99-121.
- Golik, S.I., H.O. Chidichimo, y M.R. Simom. 2002. Tasa de absorción específica de nitrógeno en *Triticum sativum*. Proc 6° Congreso Nacional de Trigo y 4° Simposio Nacional de Cultivos de siembra Invernal, Bahía Blanca, Argentina pp. 61-66.
- González Montaner, J.H. 2009. Decisiones empresariales para un año sin red. Proc Jornada de Actualización Técnica Trigo, Cebada y Colza 2009., Azul Buenos Aires, Argentina: 19-20.
- Grzebisz, K. 2007. Spring malt barley response to elemental sulphur-the prognostic value of N and S concentrations in malt barley leaves. Plant Soil Environ. 53(9):388-394.
- Lazzari, M.A. 2005. Patrones de absorción de nitrógeno nativo y del fertilizante en cebada cervecera con fertilizaciones cercanas a la siembra. Ciencia del Suelo 23:69-77.
- Lemaire, G. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. Eur. J. Agron. 28:614-624.
- Mc Kemzie, R.H., A.B. Middleton, L. Hall, J. Demulder, E. Bremer. 2004. Fertilizer Response of Barley Grain in Southern and Central Alberta. Can. J. Soil Sci. 84:513-523.
- Mc Laughlin, M.J., A. Peacock, y S.P. Stacey. 2010. Fertilizer Composition Containing Micronutrients and Methods of Making Same. United States Patent and Trademark Office Application 61:309-894.
- Mengel, K. 2005. Nitrogen fertilizer application rates on cereal crops according to available mineral and organic soil nitrogen. Eur. J. Agron. 24:343-348.
- Narwal, R.P. 2012. Influence of genetic variability on zinc iron and manganese responses in wheat. J. Geochem Explor. 121:45-48.
- Obrador, A., L.M. Valdivia, D. González, J. Novillo, M.I. Rico. 2007. Relationships of soil properties with Mn and Zn distribution in acid soils and their uptake by a barley crop. Geoderma. 137:432-443.
- Pagani, A., H.E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en cultivo de maíz en diferentes ambientes de la provincia de Buenos Aires. Ciencia del Suelo. 27(1):21-29.
- Pagola, M. 2008. New method to assess barley nitrogen nutrition status based on image colour analysis. Comparison with SPAD-502. Computers and electronics in agriculture 65(2009):213-218.
- Pedas, P., C.K. Yitting, A.T. Fuglsang, T.P. Jahn, J.K. Schjoerring, y S. Husted. 2008. Manganese efficiency in Barley: Identification and Characterization of the metal ion transporter HvIRT1 [10A]. Plant physiology. 148:455-466.
- Pettersson, C.G. 2007. Prediction of grain protein in spring malting barley grown in northern of Europe. Eur. J. Agron. 27:205-214.
- Prystupa, P. 2005. Cebada y Avena. En: Echeverría, H.E., y García, F.O. (eds.). Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina pp. 317-334.
- Prystupa, P., y G. Ferraris. 2011. Nutrición mineral y fertilización en cebada cervecera. En: Miralles, D.J., Benech, A., Abeledo, L.G (eds.) Cebada Cervecera. Editorial Facultad de Agronomía Buenos Aires pp. 35-62.
- Prystupa, P., E.A. Lemos, M.G. Telleria, y M.A. Bergara. 2010. Fertilización foliar con cobre: ¿Aumenta el contenido proteico de los granos de cebada cervecera?. Ciencia del Suelo. 31(1):119-124.
- Prystupa, P., R. Bergh, G. Ferraris, T. Loewy, L. Ventimiglia, F. Gutierrez Boem, y L. Couretot. 2006. Fertilización nitrogenada y azufrada en cebada cervecera cv Scarlett. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. IPNI Cono Sur. Buenos Aires. 38:5-8.
- Prochnow, L. I., M.F. De Moraes, y S.R. Stripp. 2009. Micronutrientes. Proc. Simposio Fertilidad 2009. IPNI Cono Sur y Fertilizar A.C. Rosario: 60-77.
- Rasmussen, P., y P. Kresge. 1986. Plant response to sulfur in the Western United States. In: Tabatabai, M. (ed). Sulfur in agriculture. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, EE.UU. pp. 357-374.
- Reussi Calvo, N.I., y H.E. Echeverría. 2009. Azufre: Marco conceptual para definir las mejores prácticas de manejo en los cultivos. Simposio Fertilidad 2009. IPNI Cono Sur y Fertilizar A.C. Rosario: 52-59.
- Reussi Calvo, N.I., y H.E. Echeverría. 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. Ciencia del Suelo 24(2):115-122.
- Reussi Calvo, N.I., H. Sainz Rozas, H.E. Echeverría, y A. Berardo. 2013. Contribution of anaerobiosis incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. Agronomy Journal 105:321-328.
- Römer, W. 1998. Influence of genotype on phosphate uptake and utilization efficiencies in spring barley. Eur. J. Agron. 8:215-224.
- Ross, F. 2012. Interacción fertilización nitrogenada y ambiente en cebada cervecera Scarlett. Proc. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16-20 de Abril de 2012. Mar del Plata. pp. A1-A6.
- Sainz Rozas, H. 2013. ¿Cuál es el estado de fertilidad de los suelos argentinos? En: García, F.O. y Correndo A.A. (Eds.). Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable. Simposio Fertilidad 2013. IPNI Cono Sur y Fertilizar A.C. Rosario. pp. 62-72.
- Salvagiotti, F., J. Castellarin, D.L. Miralles, y H. Pedrol. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Res. 113:170-177.
- Sims, J.T., y G.V. Johnson. 1991. Micronutrient soil tests. In: micronutrients in agriculture (Book series 4): 427-476. Mortvedt, J., Cox F.R., Shuman L.M. y M.R. Welch (Eds.) Ed. SSSA Madison, Wisconsin, USA.
- Studdert, G.A., y H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1496-1503.
- Tara, S. 2000. Root released organic acids and phosphorus uptake of two barley cultivars in laboratory and field experiments. Eur. J. Agron. 12:81-289.
- Tomaso, J.C. 2003. Cebada Cervecera en la Argentina idia XX1. pp. 210-216.
- Travasso, M., y G.O. Magrin. 1998. Utility of CERES-Barley under Argentine conditions. Field Crop Res. 57(3):329-333.
- Valkama, E. 2009. Phosphorus fertilization: A meta-analysis of 80 years of research in Finland. Agri, Ecosyst Environ. 130:75-85.
- Veliz, G. 2010. Impacto de la deficiencia combinada de nitrógeno y azufre sobre la removilización de aminoácidos y azúcares en plantas de cebada. Tesina N° 477. Facultad de ciencias exactas y naturales, Universidad de Belgrano. Buenos Aires, Argentina. 35.
- Vera Nuñez, J.A., O.A. Grageda Cabrera, M.A. Vuelvas Cisneros, y J.J. Peña Cabriales. 2002. Absorción de nitrógeno (¹⁵N) por el cultivo de cebada en relación con la disponibilidad de agua en "El Bajío" Guanajuato México. Terra Latin-American 20:57-64.
- Vong, P.C. 2007. Fertilizer sulphur uptake and transformations in soil as affected by plant species and soil type. Eur. J. Agron. 27:5-43.
- Zhao, F.J. 2002. Crop responses to sulphur fertilization in Europe. International Fertilizer Society, York, UK. 504:2-25. 🌱

Cursos y Simposios

1. Jornada de Conservación de Suelos 2014

Organiza : INTA-AACS
Lugar : INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina
Fecha : Julio, 11, 2014
Información : <http://jornada2014conservacionde-suelos.wordpress.com>

3. Congreso de AAPRESID

Organiza : AAPRESID
Lugar : Rosario, Santa Fe, Argentina
Fecha : Agosto, 6-8, 2014
Información : <http://www.aapresid.org.ar>

2. I Congreso Uruguayo de Suelos - VI Encuentro de la SUCS

Organiza : SUCS
Lugar : Colonia del Sacramento, Uruguay
Fecha : Agosto, 6-8, 2014
Información : <http://suelos.com.uy>

4. Simposio Latino Americano de Canola - SLAC 2014

Organiza : Embrapa Trigo - ABRAS Canola
Lugar : Passo Fundo, Rs, Brasil
Fecha : Agosto, 19-21, 2014
Información : http://www.cnpt.embrapa.br/slac/index_espanhol.htm

Publicaciones Disponibles

Titulo de la Publicación	Costo (US\$)	Costo (\$ arg.)
NUEVO: Manual 4R de la Nutrición de Plantas. El Manual 4R brinda una idea general de la base científica que define a los cuatro requisitos de manejo de la fertilización: aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar correctos, discutiendo la adopción de prácticas a campo y enfoques para la planificación del manejo de nutrientes.	30.00	250.00
Actas CD del Simposio Fertilidad 2013 "Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable". Trabajos orales y posters presentados en el Simposio organizado por el IPNI y Fertilizar AC en Rosario (Argentina) en Mayo del 2013.	12.50	100.00
Simposio Fertilidad 2011. La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de Producción. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2011.	10.00	80.00
Manual de Manejo del Cultivo de Soja. Aborda temáticas de fenología, manejo, nutrición y fertilidad, malezas, enfermedades y plagas del cultivo.	20.00	160.00
Simposio Fertilidad 2009. Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2009.	5.00	40.00
Simposio Fertilidad 2007. Bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2007.	2.50	20.00
Como se Desarrolla una Planta de Soja. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5.00	40.00
Como se Desarrolla una Planta de Maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5.00	40.00
Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI Cono Sur en http://Lacs.ipni.net		

Consulte la forma de pago de las publicaciones y la versión completa de Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica en su versión digital en: <http://Lacs.ipni.net>

I Congreso Uruguayo de Suelos

VI Encuentro de la SUCS



Congreso Uruguayo de Suelos 2014
VI Encuentro de la SUCS
6 al 8 de Agosto de 2014
Hotel Sheraton - Colonia, Uruguay



"Intensificando el conocimiento del suelo y medioambiente para producir más y mejor"

Organiza: Sociedad Uruguaya de la Ciencia del Suelo

Fecha: 6 al 8 de Agosto de 2014

Sede: Sheraton Hotel, Colonia del Sacramento, Uruguay

Conferencistas confirmados:

- Dr. Walter Baetghen. Columbia University, EE.UU
- Dr. Miguel Cabrera. University of Georgia, EE.UU.
- Dr. Norbert Claassen. Universität Göttingen, Alemania.
- Dr. Armen Kemanian. Pennsylvania State University, EE.UU.
- Dr. Antonio Mallarino. Iowa State University, EE.UU.
- Dr. Gervasio Piñeiro. Universidad de Buenos Aires, Argentina
- Dr. Ariel Szogi. United States Department of Agriculture, EE.UU.

Información:

sucs.directiva@gmail.com
<http://www.sucs.org.uy>
<http://suelos.com.uy>

Forma de pago de las publicaciones

Argentina

- Giro postal o telegráfico a través de Correo Argentino - Los datos para realizar su envío son los siguientes:
Sra. Laura Nélide Pisauri - DNI: 17.278.707 • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires, Argentina
Agencia de correos de destino: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina
- Depósito bancario a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Sucursal Olivos, Cta. Cte. N° 3856/4 053/5
- Transferencia bancaria a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Sucursal Olivos, Cta. Cte. N° 3856/4 053/5, CBU 007005352000003856451 CUIT 30-70175611-4

Otros países

- Envío de dinero a través de Western Union - Los datos para realizar su envío son los siguientes:
Sra. Laura Nélide Pisauri - DNI: 17.278.707 • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires, Argentina
Agencia de correos de destino: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina

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

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