

Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica

IAH 22 - Junio 2016

Diagnóstico del estatus azufrado del cultivo de soja: Utilidad de la determinación de S y N:S en hoja, planta y grano	2
Aporte de la fijación biológica de nitrógeno a la emisión de N ₂ O desde el suelo con cultivo de soja	9
Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires. II. Efectos sobre el calibre y los componentes del rendimiento	15
Respuesta del cultivo de maíz a la aplicación anticipada de fósforo	20
Lecciones para la nutrición de plantas de las ondas gravitacionales	25
Cursos y Simposios	26
Publicaciones Disponibles	27



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

International Plant Nutrition Institute (IPNI)

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

<http://www.ipni.net>

En este número

- Diagnóstico de S en soja
- Aporte de la FBN a la emisión de N₂O
- Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera
- Respuesta a P en el cultivo de maíz

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 • Peachtree Corners, Georgia 30092-2844 - EE.UU
Telf.: 1 770 825 8079 • Fax: 1 770 448 0439 • Correo electrónico: atasistro@ipni.net • <http://mca.ipni.net>

Diagnóstico del estatus azufrado del cultivo de soja: Utilidad de la determinación de S y N:S en hoja, planta y grano

G.A. Divito^{1*}, H.E. Echeverría², F.H. Andrade^{1,2}, y V.O. Sadras³

Introducción

Hasta mediados de la década de los '90, la deficiencia de azufre (S) en los cultivos extensivos no constituía un problema en la región pampeana argentina y eran pocos los reportes de respuestas en rendimiento al agregado del nutriente. Desde entonces, la problemática ha cobrado mayor importancia, como consecuencia de la disminución en el contenido de materia orgánica (MO) de los suelos, la implementación de rotaciones de cultivos más intensivas y el incremento en la demanda del nutriente por mayor potencial de rendimiento de los mismos.

La determinación del contenido de azufre como sulfato ($S-SO_4^{-2}$) en el suelo es la metodología más empleada para evaluar la disponibilidad del nutriente para los cultivos, aunque no ha demostrado resultados satisfactorios. Esto obedece a la dinámica de dicho anión en el suelo, como su presencia en horizontes y en aguas sub-superficiales, y a características propias de la determinación en el laboratorio. Surge así la necesidad de evaluar metodologías alternativas, que permitan mejorar el diagnóstico del estatus azufrado de los cultivos en general y de la soja en particular.

Los indicadores basados en el análisis de material vegetal constituyen una alternativa de interés (Black Kalff et al., 2002). En este sentido, la determinación de la concentración de S (S_{conc}) en la biomasa aérea o en partes específicas de la planta ha demostrado un buen comportamiento para caracterizar el estatus azufrado (Black Kalff et al., 2002). Sin embargo, dicho índice presenta el inconveniente de variar con el estadio fenológico y con la parte de la planta analizada, lo que acota la validez de los umbrales. Contrariamente, cuando el aporte de nitrógeno (N) a los cultivos es adecuado, la relación N:S es preferible porque presenta menos variabilidad.

La parte de la planta analizada condiciona la precisión de la metodología, la practicidad del muestreo y la posibilidad de intervenir para corregir una eventual deficiencia. Trabajos recientes realizados en soja han reportado resultados auspiciosos para determinaciones de S_{conc} en la biomasa aérea total y en hojas del estrato superior del cultivo. Sin embargo, los mismos se realizaron en macetas (Hitsuda et al., 2004) o con un set de datos reducidos (Kaiser y Kim, 2013), lo que indica la necesidad de continuar con el estudio de la temática. Además, no existe información respecto del uso de la relación N:S como herramienta de diagnóstico.

La determinación de la S_{conc} y la relación N:S en granos es un indicador robusto del estatus azufrado en varios cultivos, entre ellos trigo (Randall et al., 1981; Reussi Calvo et al., 2011) y arroz (Randall et al., 2003). En soja, Hitsuda et al. (2004) determinaron una estrecha asociación entre la S_{conc} y el rendimiento de plantas que crecieron en macetas, aunque la misma no pudo ser verificada en trabajos posteriores realizados a campo (Salvagiotti et al., 2012). Esta discrepancia en los resultados indica la necesidad de continuar evaluando la performance de la metodología.

Por otra parte, los medidores de la transmitancia foliar permiten un diagnóstico instantáneo, no destructivo y cuantitativo del estatus azufrado, a partir de su relación con el contenido de clorofila de las hojas (Hoefgen y Nikiforova, 2008). Su performance ha sido evaluada con resultados auspiciosos en condiciones intensivas (Hitsuda et al., 2004) aunque no a campo.

Así, se han reportado resultados promisorios para algunas herramientas de diagnóstico a partir de determinaciones en material vegetal, mientras que otros deben aún ser evaluados con mayor detalle. Este artículo presenta un resumen adaptado del trabajo de Divito et al. (2015) cuyos objetivos fueron: i) analizar la dinámica de las concentraciones de S y de N (N_{conc}) y de la relación N:S en hoja, planta y grano de soja en respuesta a la disponibilidad de S en el suelo, ii) determinar umbrales críticos para la deficiencia del nutriente, y iii) evaluar la performance del índice de verdor (IV) como estimador de la S_{conc} y la relación N:S en hoja.

Materiales y métodos

Experimentos

Se realizaron 15 experimentos durante las campañas 2012/13 y 2013/14 localizados en el norte, centro y sur de la región pampeana argentina (**Tabla 1**). El experimento del norte se ubicó en Rafaela (31.3 °S, 61.5 °O), los experimentos de la región central se ubicaron a 40 km alrededor de Teodelina (34.2 °S, 61.5 °O) y los ensayos del sur se dispusieron a 30 km alrededor de Balcarce (37.5 °S, 58.2 °O). Los mismos contemplaron ensayos de soja de primera y de segunda. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. La dimensión de cada unidad experimental fue 12 m x 5 m.

En 12 experimentos se evaluaron 5 dosis de S (0, 10, 20, 30 y 40 kg S ha⁻¹) y en los 3 restantes se evaluaron tres dosis (0, 10 y 40 kg S ha⁻¹). El S se aplicó como yeso agrícola (CaSO₄•2H₂O, 16% S, 20% Ca), al voleo, en cobertura

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

² Unidad Integrada Balcarce, Ruta 226 km 73.5, CC 276, CP7620, Balcarce, Argentina

³ South Australian Research & Development Institute, Waite Research Precinct, Australia

* Autor de contacto. Correo electrónico: guillermodivito@yahoo.com.ar

total, entre los estadios Vc y V1 (Fehr y Caviness, 1977). Se aplicó fósforo (P), a razón de 30 kg P ha⁻¹, en forma de superfosfato triple de calcio (0-46 P₂O₅-0) a todos los tratamientos. La semilla de soja se inoculó con bacterias de la especie *Bradyrhizobium japonicum*.

Muestreo de suelos y análisis

Al inicio de los ensayos se tomaron muestras de suelo (10 sub-muestras por bloque en cada ensayo) en los estratos 0-20, 20-40, y 40-60 cm. Posteriormente se secaron a 30 °C, se molieron y se tamizaron por una malla de 2 mm. El contenido de S-SO₄⁻² en las muestras se determinó mediante extracción con Ca(H₂PO₄)₂ (Islam y Bhuiyan, 1998) y posterior determinación por turbidimetría con cloruro de bario (BaCl₂) y Tween 80 como estabilizador (Johnson, 1987). El contenido de MO se cuantificó según la metodología propuesta por Walkley y Black (1934). El P extractable se determinó según la metodología de Bray y Kurtz, (1945) y el NO₃⁻ según el método propuesto por Bremner y Keeney (1966).

Muestreo de plantas y análisis

El muestreo de biomasa aérea total y de hojas se realizó entre los estadios R1 y R3 (Fehr y Caviness, 1977) (**Tabla 1**). Las muestras de biomasa aérea se colectaron cortando las plantas al nivel del suelo sobre una superficie de 0.8 m² (2 sub-muestras de 0.4 m²) en cada unidad experimental. Al mismo tiempo, se tomaron 20 hojas de los surcos centrales de cada parcela, seleccionando

la correspondiente al anteúltimo nudo completamente desarrollado según la escala de Fehr y Caviness (1977). En adelante, se denominará “planta” y “hoja” a la biomasa aérea total y a las hojas del estrato superior del canopeo, respectivamente.

Luego de madurez fisiológica, definida en R8, se colectó la biomasa aérea de una superficie de 3.4 m² por unidad experimental y luego se trilló con trilladora estacionaria. El rendimiento en grano se ajustó a un contenido de humedad de 0.13 kg H₂O kg grano⁻¹. Hojas, plantas y granos se secaron en estufa (65 °C) y luego se molieron y tamizaron por un tamiz de 1 mm de apertura de malla. El contenido de N y S en dicho material se determinó con el analizador TruSpec CNS (LECO, St. Joseph, MI, EE.UU.).

La determinación del IV se realizó en el mismo momento que el muestreo de material vegetal (entre R1 y R3) mediante el empleo del clorofilómetro Minolta SPAD-502 (Spectrum Technologies Inc., Plainfield, IL, EE.UU.). Las mediciones se realizaron en la porción media del foliolo central de las hojas correspondientes al anteúltimo nudo completamente desarrollado (Fehr y Caviness, 1977). El IV de cada unidad experimental se calculó como el promedio de 20 mediciones. El índice de suficiencia de S se calculó, para cada ensayo, mediante la **Ec. 1**:

$$ISS = IVS / IVc \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde, IVS es el índice de verdor cada tratamiento y IVc

Tabla 1. Descripción del sitio experimental. Análisis de suelo al inicio del ensayo (0-20 cm para MO y P-Bray y 0-60 cm para S-SO₄⁻²) y manejo del cultivo.

Experimento ^a	Sitio	Año	Suelo ^b	MO %	P-Bray mg kg ⁻¹	S-SO ₄ ⁻² kg ha ⁻¹	Variedad	Fecha de siembra	Estadio de muestreo ^c
E1	Sur	2012/13	AT	4.4	26.8	32.9	DM 4970	08/11	R2
E2	Sur	2012/13	AT	4.4	25.6	30.8	DM 2200	08/11	R1
E3	Sur	2012/13	AT	4.5	15.2	25.2	DM 3810	15/11	R1
E4	Sur	2013/14	AT	4.8	14.0	16.2	DM 3810	10/11	R2
E5	Sur	2013/14	AT	4.6	20.5	27.3	DM 3810	02/11	R2
E6	Centro	2013/14	AT	1.8	12.0	22.6	DM 4612	10/11	R3
E7	Centro	2013/14	AT	2.1	14.9	19.4	DM 3810	22/10	R3
E8	Centro	2013/14	AT	2.3	9.4	16.5	DM 4612	12/10	R3
E9	Centro	2013/14	AT	1.9	25.5	14.2	DM 4612	12/11	R3
E10	Norte	2013/14	AT	2.4	46.9	22.9	DM 5900	05/11	R3
E11	Sur	2012/13	AT	4.3	13.1	24.7	DM 3810	12/11	R1
E12	Sur	2012/13	AT	4.5	23.2	33.2	DM 2200	10/01	R3
E13	Sur	2013/14	PP	3.6	17.1	13.1	DM 3500	12/12	R3
E14	Sur	2013/14	AT	3.8	7.6	17.2	DM 3500	14/12	R3
E15	Sur	2012/13	AT	4.5	15.8	25.1	DM 3500	08/12	R1

^a Ver más información sobre características de los ensayos en el artículo original (Divito et al., 2015)

^b AT y PP indican Argiudol Típico y Paleudol Petrocálcico, respectivamente

^c Estadio del cultivo (Fehr y Caviness, 1977) al momento del muestreo de planta, hoja e índice de verdor

Tabla 2. Rendimiento del cultivo según la dosis de S aplicada. Para cada ensayo, letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis de S ($p < 0.05$) según DMS.

Ensayo	Dosis de S, kg ha ⁻¹				
	0	10	20	30	40
E1	3602 a	3947 a	-	-	3647 a
E2	2705 b	3375 a	-	-	3408 a
E3	3175 c	3374 b	3451 ab	3496 ab	3548 a
E4	2867 b	3219 a	2981 ab	3068 ab	2993 ab
E5	3294 a	3158 a	3216 a	3160 a	3159 a
E6	3271 a	3264 a	3415 a	3233 a	3395 a
E7	5106 cd	5083 d	5637 a	5359 ab	5222 bc
E8	4068 a	4235 a	4084 a	4201 a	4006 a
E9	4268 b	4382 b	4419 b	4515 ab	4779 a
E10	3341 a	3352 a	3628 a	3522 a	3549 a
E11	2715 b	3167 ab	2993 ab	3359 a	3148 ab
E12	1601 a	1449 a	-	-	1677 a
E13	1853 c	2234 b	2289 ab	2309 ab	2595 a
E14	2104 c	2195 bc	2324 ab	2207 a	2417 a
E15	2091 b	2208 a	2207 a	2250 a	2367 a

Valor P: Dosis S < 0.01; Experimento < 0.01; Dosis S x Experimento 0.02

es el índice de verdor del tratamiento que maximizó el rendimiento con el aporte de la menor dosis de S.

El rendimiento relativo se calculó para cada sitio como el cociente entre el rendimiento de cada tratamiento y el rendimiento del tratamiento que recibió 40 kg S ha⁻¹.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de la varianza, usando el procedimiento PROC MIXED del programa SAS, a fin de evaluar los efectos del sitio y dosis de S. Las diferencias entre tratamientos se determinaron según el test DMS ($p < 0.05$).

Para describir la relación entre algunas de las variables se utilizaron técnicas de regresión, específicamente modelos lineal-plateau, según las **Ec. 2 a 5**:

$$Y = a + bX \text{ si } X \leq c \quad (\text{Ec. 2})$$

$$Y = a + bC \text{ si } X > c \quad (\text{Ec. 3})$$

$$Y = a + bX \text{ si } X \geq c \quad (\text{Ec. 4})$$

$$Y = a + bC \text{ si } X < c \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde a es la ordenada al origen, b la tasa de cambio en Y en la fase lineal del modelo, y c es el valor límite de X . Las **Ec. 2 y 3** se emplearon para la relación entre el rendimiento relativo y S_{conc} en hoja, planta y grano y para la relación entre el ISS y S_{conc} en hoja. Las **Ec. 4 y 5** se

usaron para la relación entre el rendimiento relativo y N:S en hoja, planta y grano y para la relación entre el ISS y N:S en hoja. Los modelos lineal plateau se calcularon usando el procedimiento NLIN del programa SAS.

Resultados y discusión

Rendimiento

En promedio para cada sitio, el rendimiento en grano varió de 5338 a 1575 kg ha⁻¹ (**Tabla 2**). Los rendimientos máximos se obtuvieron en la región pampeana central y los mínimos en cultivos de segunda de la zona sur. Esto coincide con información previa, que indica que el rendimiento a campo de la soja de primera es mayor en la región central debido a menores deficiencias hídricas y mayor temperatura ambiental (Calviño y Sadras, 1999; Calviño y Monzón, 2009). Por su parte, el rendimiento de los ensayos de soja de segunda en el sur se asemeja a la media regional, y es consecuencia de una corta estación de crecimiento, déficit hídrico durante la mayor parte del ciclo del cultivo y bajas temperaturas, fundamentalmente durante el periodo de llenado de granos (Calviño et al., 2003).

La aplicación de S produjo aumentos en el rendimiento en grano en 9 de los 15 ensayos ($p < 0.05$) (**Tabla 2**). La respuesta se determinó en ensayos del centro y sur de la región pampeana, en coincidencia con trabajos previos que demuestran que la deficiencia de S es una problemática instalada en la zona de estudio (Gutiérrez Boem et al., 2007; Reussi Calvo et al., 2011; Pagani y Echeverría, 2012). Se destaca que todos los cultivos de soja de segunda respondieron a la fertilización azufrada, lo cual también concuerda con experiencias previas y se atribuye a la remoción del nutriente por el cultivo anterior. En los experimentos donde se registraron respuestas a la fertilización, el rendimiento se maximizó con la aplicación de 10 (4 experimentos), 20 (4 experimentos) y 30 (1 experimento) kg S ha⁻¹.

Dinámica del S y N en hoja, planta y grano

La S_{conc} aumentó con la dosis de S en 11, 14 y 11 experimentos en hoja, planta y grano, respectivamente ($p < 0.05$) (datos no mostrados). En algunos ensayos dicho incremento se relacionó con un aumento en el rendimiento, mientras que en otros se evidenció consumo de lujo. Los tratamientos testigo, sin fertilización con S, de los ensayos de soja de segunda manifestaron los menores valores de S_{conc} independientemente del órgano muestreado, lo que indica que sufrieron mayor deficiencia del nutriente.

Por su parte, la aplicación de S generó cambios en la N_{conc} en 5, 7 y 4 ensayos para hoja, planta y grano, respectivamente (datos no mostrados). En los cultivos de soja de segunda, se determinaron aumentos en la N_{conc} ante aportes de S. Sin embargo, en otros ensayos

la N_{conc} disminuyó conforme aumentó la disponibilidad de S, lo que impidió establecer patrones generales para esta variable. La relación N:S, por su parte, disminuyó en respuesta a la fertilización con S en hoja, planta y grano y mostró similar sensibilidad a la disponibilidad de S en el suelo respecto de la S_{conc} .

El análisis de la información conjunta de los experimentos muestra que la N_{conc} aumentó con la S_{conc} en hoja ($p < 0.01$) y planta ($p < 0.01$) y que no existió asociación entre ambas variables en grano ($p = 0.14$) (Figura 1). Como se indicó, dicha relación no se evidenció cuando se analizaron los ensayos de manera individual. Esto indica que, para hoja y planta, existieron otras causas diferentes a la disponibilidad de S que generaron que ambos

nutrientes hayan variado concomitantemente. Entre ellas, las diferencias en el estadio fenológico al momento del muestreo (Tabla 1) podrían ser una de las principales. Cálculos realizados a partir de información publicada en trabajos recientes (Bender et al., 2015) indican que la concentración de ambos nutrientes en planta disminuye desde estadios vegetativos hasta reproductivos avanzados. El patrón que sigue dicha dilución depende de la relación que se establece entre los componentes hoja:tallo:vaina de la planta (Divito, inédito). Para la S_{conc} en hojas del estrato superior del canopeo, Fontanive et al. (1996) también reportaron disminuciones conforme las plantas se desarrollaron.

En el presente trabajo, las N_{conc} y S_{conc} en hoja y planta

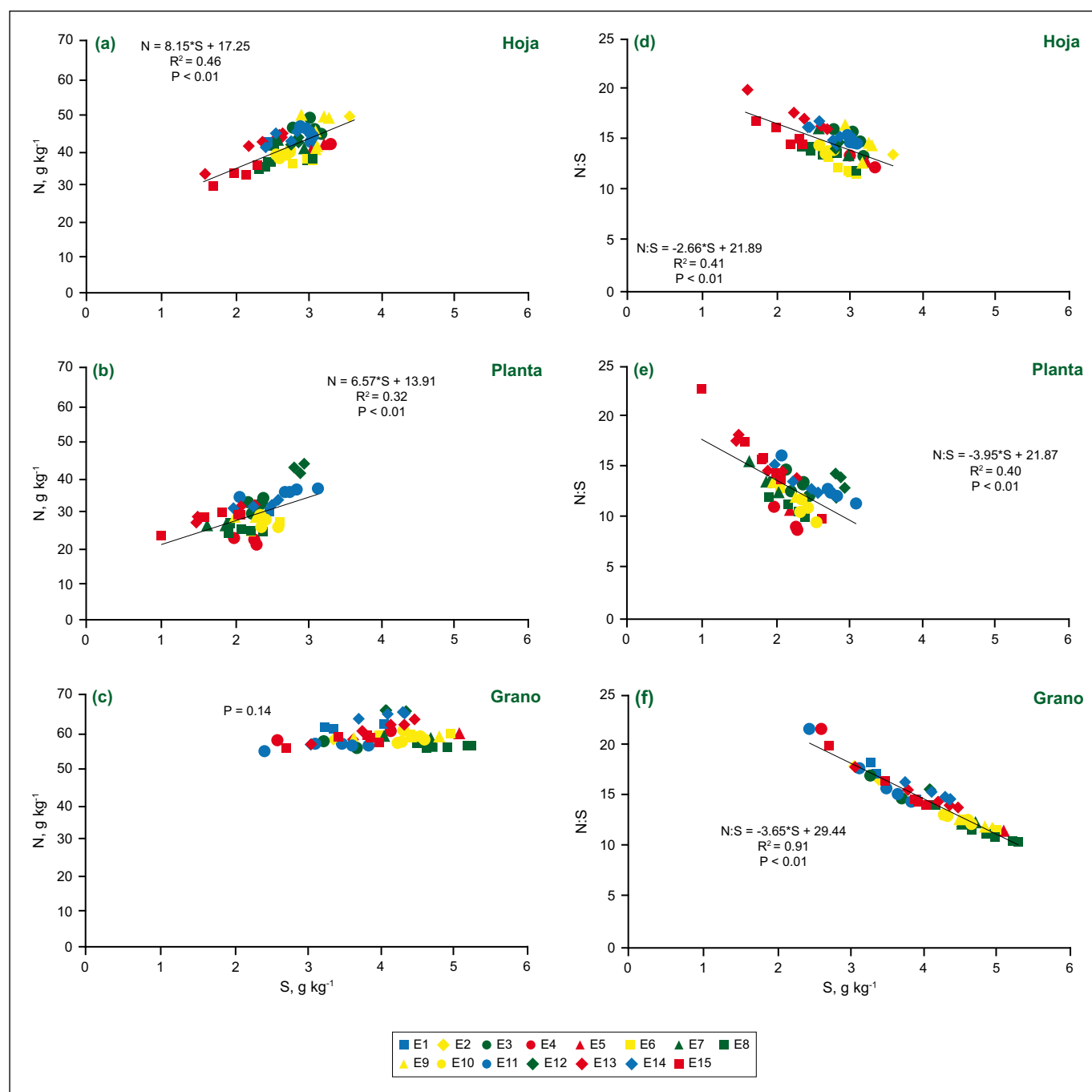


Figura 1. Relación entre la concentración de N ($g\ kg^{-1}$) (izquierda) y la concentración de S ($g\ kg^{-1}$) y entre la relación N:S y la concentración de S ($g\ kg^{-1}$) en hoja (arriba), planta (centro) y grano (abajo). P indica la significancia de la regresión. Información de 15 experimentos (E1 a E15) con 3 a 5 dosis de S cada uno.

no se asociaron con el estadio de desarrollo al momento del muestreo. Esto pudo obedecer a efectos confundidos entre el estadio, la variedad de soja, factores ambientales, etc. Sin embargo, la **Figura 1**, da evidencia de que, cuando otra fuente de variación además de la provisión de S afecta la S_{conc} en hoja o planta, la N_{conc} cambia en el mismo sentido. Esta asociación es muy favorable, puesto que permite, a partir del uso de la relación N:S, reducir la variabilidad de S_{conc} atribuida a causas distintas de la disponibilidad de S. Contrariamente, la relativa estabilidad en la N_{conc} en grano ante cambios en la S_{conc} indica que no existirían beneficios en el empleo de N:S respecto de S_{conc} .

Relación entre el rendimiento en grano, S_{conc} y N:S

Los valores críticos para S_{conc} en hoja, planta y grano fueron 2.65, 2.06 y 3.93 g S kg⁻¹, respectivamente (**Figuras 2a-c**). Para hoja, el valor se encuentra entre los reportados por Agrawal y Mishra (1994) (ca. 2.0 g S kg⁻¹) y por Kaiser y Kim (2013) (3.1 g S kg⁻¹). Por su parte, el valor determinado para planta es sensiblemente menor que 2.7 g S kg⁻¹, el umbral propuesto por Kaiser y Kim (2013). El umbral obtenido para S_{conc} en grano es superior al reportado por Kaiser y Kim (2013) (3.3 g S kg⁻¹) y Salvagiotti et al. (2012) (2.7 g S kg⁻¹). Sin embargo, Salvagiotti et al. (2012) indicaron que este índice no mostró un buen comportamiento para el diagnóstico del estatus azufrado, puesto que muchos de los tratamientos con rendimientos relativos menores a 0.9 tuvieron una S_{conc}

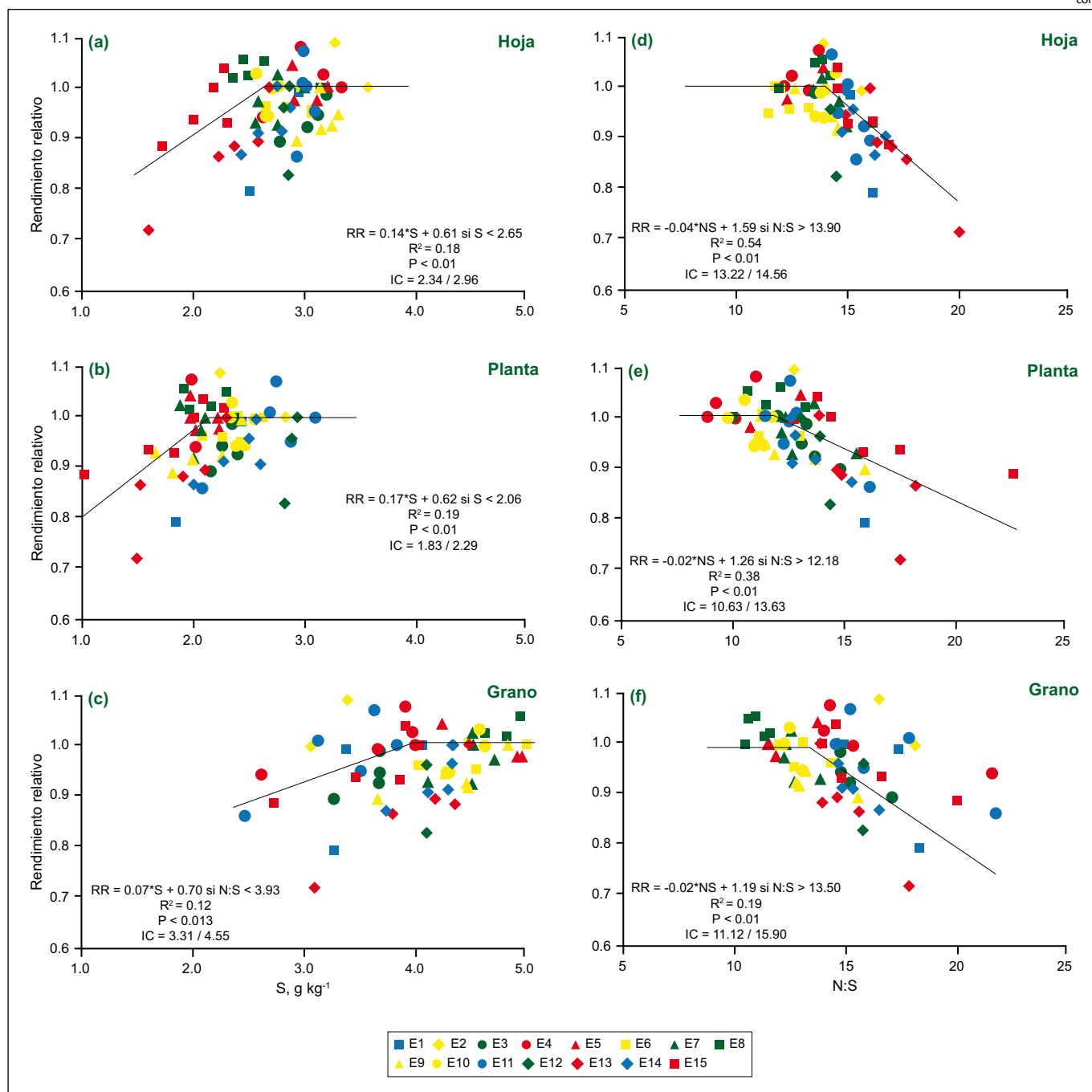


Figura 2. Relación entre el rendimiento relativo y la concentración de S en hoja (a), planta (b) y grano (c) y entre el rendimiento relativo y la relación N:S en hoja (d), planta (e) y grano (f). RR es el rendimiento relativo. IC es el intervalo de confianza para el umbral crítico (0.95). P indica la significancia de la regresión. Información de 15 experimentos (E1 a E15) con 3 a 5 dosis de S cada uno.

mayor al umbral. Estas observaciones de dichos autores sustentan la posibilidad de definir umbrales mayores, como los que se determinaron en el presente trabajo.

Los umbrales críticos para N:S en hoja, planta y grano fueron 13.90, 12.18 y 13.5, respectivamente (**Figuras 2d-f**). Así, para hoja, dicho valor es menor al reportado por Agrawal y Mishra (1994), quienes propusieron un umbral crítico de 16.0. Para grano, por su parte, el umbral crítico que se determinó en el presente trabajo es menor al propuesto por Salvagiotti et al. (2012) (22.0), a partir de ensayos de campo realizados en la Región Pampeana. Esta discrepancia obedece principalmente al menor valor de S_{conc} , puesto que la N_{conc} fue similar en ambos trabajos. De manera similar a lo descrito para S_{conc} , Salvagiotti et al. (2012) indicaron que la relación N:S no resultó una buena herramienta de diagnóstico, puesto que $\approx 64\%$ de los tratamientos deficientes de S tuvieron una relación menor a 22.0. Nuevamente, estos resultados indican que la definición de un umbral menor, como el que se propone en el presente trabajo, mejoraría la utilidad del método.

Para cereales se han propuesto valores críticos de la relación N:S en grano similares a los determinados en soja (Randall et al., 1981, 2003; Reussi Calvo et al., 2011). En este sentido, se destaca que las legumbres rara vez son fertilizadas con N por lo que, en condiciones no restrictivas para la fijación biológica del nutriente, no se esperan grandes variaciones en la N_{conc} (Leffel et al., 1992). Contrariamente, la N_{conc} en cereales depende en mayor medida del aporte de N desde fuentes externas (i.e. fertilizantes, enmiendas, etc.) que pueden causar acumulaciones desproporcionadas del N en planta. Esto hace que el empleo de N:S sea más preciso en leguminosas que en cereales.

Al comparar la aptitud de los métodos, surge que el rendimiento relativo se relacionó débilmente con S_{conc} en hoja ($R^2 = 0.18$), planta ($R^2 = 0.19$) y grano ($R^2 = 0.12$) (**Figuras 2a-c**). Esta asociación mejoró notablemente con el uso de N:S en hoja ($R^2 = 0.54$) y planta ($R^2 = 0.38$) aunque no en grano ($R^2 = 0.19$) (**Figura 2**). Se destaca que la relación N:S en hoja mostró el mejor comportamiento entre los indicadores propuestos, lo que se refleja también en el estrecho rango del intervalo de confianza del umbral crítico (**Figura 2d**).

Así, se confirma lo descrito anteriormente, donde la inclusión de la N_{conc} reduce la variabilidad de la S_{conc} en hoja y planta atribuida al estadio fenológico al momento del muestreo, la arquitectura de la planta y otros factores del cultivo y ambiente. Por el contrario, la estabilidad de la N_{conc} en grano ante cambios en S_{conc} fue responsable de que la relación N:S no mostrara mejor asociación con el rendimiento respecto de lo observado para la S_{conc} . Se destaca que los granos no presentan diferencias en la concentración de los nutrientes debido al momento del muestreo, lo que elimina una fuente importante de variación.

La S_{conc} crítica resultó diferente entre hoja, planta y grano, lo que se deduce de la falta de superposición entre los

intervalos de confianza definidos para cada parte de la planta (**Figuras 2a-c**). Por el contrario, los valores críticos definidos para N:S fueron similares (**Figuras 2d-f**), lo que indica que la inclusión de N_{conc} también remueve la variación en S_{conc} atribuida a las partes de la planta.

Empleo del clorofilómetro para evaluar el estatus azufrado del cultivo

El ISS se relacionó con la S_{conc} (**Figura 3a**) y, en mayor medida, con la relación N:S en hoja (**Figura 3b**) ($p < 0.01$). Además, el rendimiento relativo se relacionó con el ISS ($p < 0.01$) (**Figura 3c**).

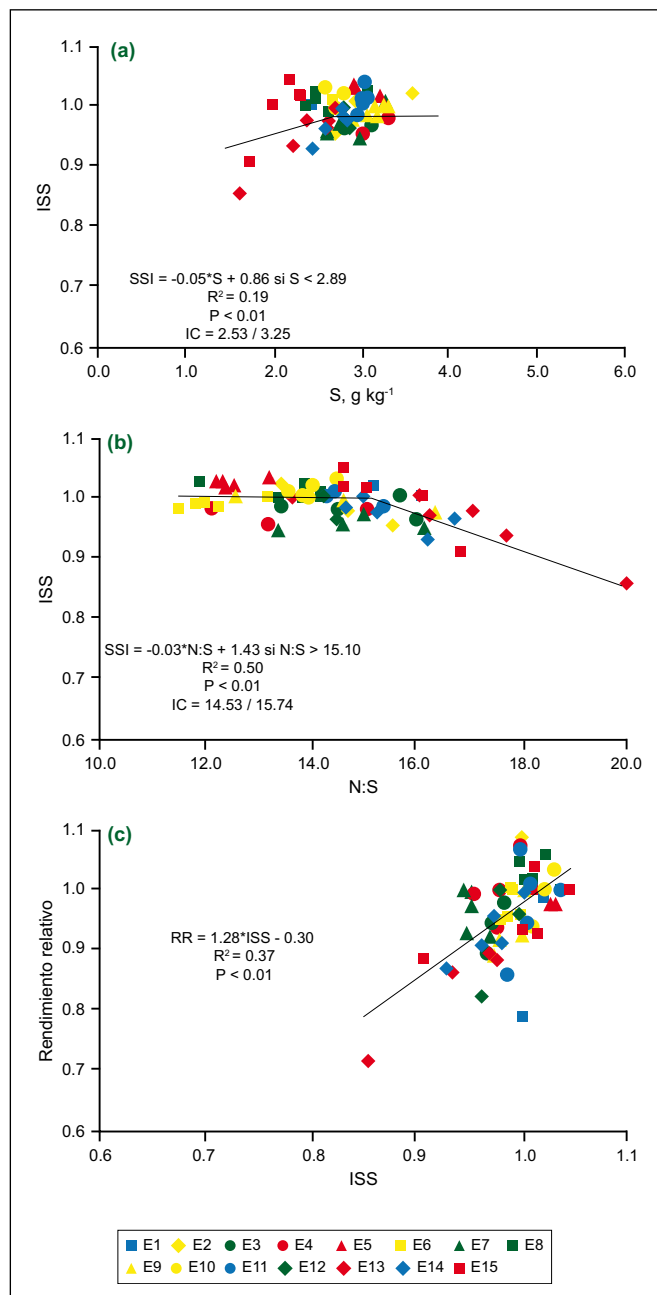


Figura 3. Relación entre el índice de suficiencia de azufre (ISS) y la concentración de S en hoja (a), entre el índice de suficiencia de azufre (ISS) y la relación N:S en hoja (b) y entre el rendimiento relativo y el índice de suficiencia de azufre (ISS) (c). IC es el intervalo de confianza para el umbral crítico (0.95). P indica la significancia de la regresión. Información de 15 experimentos (E1 a E15) con 3 a 5 dosis de S cada uno.

Esta asociación podría deberse a que la deficiencia de S reduce la concentración de compuestos involucrados en la síntesis de clorofila, lo que provoca clorosis en las plantas (Hoefgen y Nikiforova, 2008). Se destaca que los umbrales propuestos para las funciones que relacionan el ISS con la S_{conc} y con N:S en hoja (2.89 g S kg^{-1} y 15.1 , respectivamente) (**Figuras 3a-b**) fueron similares a los valores propuestos para la relación con el rendimiento relativo (2.65 g S kg^{-1} y 13.90 , para S_{conc} y N:S, respectivamente). Esto se sustenta en la superposición de los intervalos de confianza (**Figuras 2a y 3a** para S_{conc} y **Figuras 2d y 3d** para N:S). Aunque requiere ser confirmado, esta similitud adquiere relevancia puesto que indica que el índice de verdor es sensible a cambios en el estatus azufrado en el rango de los umbrales críticos propuestos para el análisis de hoja.

Conclusiones

El presente trabajo permitió determinar umbrales críticos para el diagnóstico del estatus azufrado del cultivo de soja. Los mismos fueron 2.65 , 2.06 y 3.93 g S kg^{-1} , para hoja, planta y grano, respectivamente. Para las mismas partes de la planta, los valores críticos para la relación N:S fueron 13.90 , 12.18 y 13.50 , respectivamente.

El comportamiento de la S_{conc} en hoja, planta y grano fue regular. En hoja y planta, la inclusión de la relación N:S mejoró de manera significativa el diagnóstico. Esto se debió a que, en hoja y planta, la relación N:S redujo la variabilidad asociada al momento de muestreo, cultivar o ambiente. Por el contrario, la estabilidad en la N_{conc} en grano ante variaciones de S_{conc} sustentó que no existieran beneficios en el uso de N:S respecto de S_{conc} . El ISS fue sensible a los cambios en el estatus azufrado del cultivo, aunque no mostró una buena asociación con el rendimiento.

Debido al buen comportamiento y a la practicidad del muestreo, proponemos el uso de la relación N:S en hoja para el diagnóstico del estatus azufrado durante el ciclo del cultivo.

Agradecimientos

El presente trabajo forma parte de los proyectos INTA PNSuelo 1134021, INTA PNSuelo 1134024, FONCyT PICT 2011-1796 y UNMP-AGR447/14. Agradecemos a Sebastián Gambaudo (INTA Rafaela) y Nicolás Sosa (INTA Manfredi) por la colaboración con los ensayos, y a Mercedes Eyherabide por la asistencia para las determinaciones de N y S en material vegetal.

Referencias

Agrawal, H.P., y A.K. Mishra. 1994. Sulphur nutrition of soybean. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis*. 25:1303-1312.

Bender, R.R., J.W. Haegerle, y F.E. Below. 2015. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. *Agron. J.* 107:563-573

Black Kalf, M., F.J. Zhao, y P. McGrath. 2002. Sulphur deficiency diagnosis using plant tissue analysis. En: *Proceedings N° 503, International Fertiliser Society, York*.

Bray, R.H., y L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.

Bremner, J., y D. Keeney. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soil: exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:577-582.

Calviño, P.A., y J.P. Monzón. 2009. Farming systems of Argentina: Yield constraints and risk management. En: Sadras, V.O., Calderini, D. F., *Crop physiology: Applications for genetic improvement and agronomy*. Elsevier Academic Press, San Diego, California. pp. 55-70.

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

Divito G., H. Echeverría, F. Andrade y V. Sadras. 2015. Diagnosis of S deficiency in soybean crops: Performance of S and N:S determinations in leaf, shoot and seed. *Field Crops Research*, 180:167-175.

Fehr, W.R., y C.E. Caviness. 1977. *Stages of Soybean Development*. Iowa State University, Ames, Iowa - USA.

Fontanive, A.V., A.M. Horra, de la, y M. Moretti. 1996. Foliar analysis of sulphur in different soybean cultivar stages and its relation to yield. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis*. 7:179-186.

Gutierrez Boem, F.H., P. Prystupa, y G. Ferraris. 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. *J. Plant Nutr.* 30:93-104.

Hitsuda, K., G.J. Sfredo, D. y Klepker. 2004. Diagnosis of sulfur deficiency in soybean using seeds. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1445-1451.

Hoefgen R, y V.J. Nikiforova. 2008. Metabolomics integrated with transcriptomics: assessing systems response to sulfur-deficiency stress. *Physiol. Plantarum* 132:190-198.

Islam, M., y N. Bhuiyan. 1998. Evaluation of various extractants for available sulfur in wetland rice (*Oryza sativa*) soils of Bangladesh. *Indian J. Agr. Sci.* 58:603-606.

Johnson, G.V. 1987. Sulfate: Sampling testing, and calibration. En: *Soil testing: Sampling correlation, calibration, and interpretation*, ed. J. R. Brown, 89-96. Madison: Wisc.: SSSA.

Kaiser, D.E., y K. Kim. 2013. Soybean response to sulfur fertilizer applied as a broadcast or starter using replicated strip trials. *Agron. J.* 105:1189-1198.

Leffel, R.C., P.B. Cregan, A.P. Bolgiano, y D.J. Thibreau. 1992. Nitrogen metabolism of normal and high-seed-protein soybean. *Crop. Sci.* 32:747-750.

Pagani, A., y H. E. Echeverría. 2012. Influence of sulfur deficiency on chlorophyll-meter readings of corn leaves. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 175:604-613

Randall, P.J., J.R. Freney, y K. Spencer. 2003. Diagnosing sulfur deficiency in rice by grain analysis. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 65:211-219.

Randall, P.J., K. Spencer, y J.R. Freney. 1981. Sulfur and nitrogen fertilizer effects on wheat. I. Concentrations of sulfur and nitrogen and the nitrogen to sulfur ratio in grain, in relation to the yield response. *Aust. J. Agr. Res.* 32:203-212.

Reussi Calvo, N., H. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2011. Diagnosing sulfur deficiency in spring red wheat: plant analysis. *J. Plant Nutr.* 34:573-589.

Salvagiotti, F., G. Ferraris, A. Quiroga, M. Barraco, H. Vivas, P. Prystupa, H. Echeverría, y F.H. Gutiérrez Boem. 2012. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. *Field Crops Res.* 135:107-115.

Walkley, A., y I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-37.

Aporte de la fijación biológica de nitrógeno a la emisión de N₂O desde el suelo con cultivo de soja

Vanina R.N. Cosentino^{1,2,*}, Lucrecia Noemí Brutti^{1,2}, Gabriela Civeira¹ y Miguel A. Taboada^{1,3}

Introducción

El óxido nitroso (N₂O) es el principal gas de efecto invernadero (GEI) emitido desde el sector agrícola y posee un poder de calentamiento global 310 veces mayor al del CO₂ para un marco de periodo de 100 años (IPCC, 2006). La producción biológica del N₂O en el suelo se genera por dos vías: la nitrificación y la desnitrificación. Ambos procesos microbianos se encuentran afectados por la disponibilidad de nitrógeno (N), la temperatura, el contenido hídrico y la concentración de oxígeno (O₂) en el suelo, entre otros factores (Jensen et al., 2012).

La soja (*Glycine max* L. Merrill.) es el principal cultivo de la Argentina, con una superficie sembrada que supera las 18 millones de hectáreas y una producción de 48.8 millones de toneladas para la campaña 2010/11 (INDEC, 2014). Actualmente, la emisión de un GEI como el N₂O, presenta elevada relevancia político-económica para nuestro país. Dado que Argentina es un país productor y exportador de commodities y biodiesel de soja, las medidas impuestas sobre este cultivo por la Unión Europea y sus estados miembros afectan la importación y comercialización del cultivo de soja desde países como el nuestro. Esto ocurre, mediante las Directivas 2009/30/CE y 98/70/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, a partir de las cuales se introduce un mecanismo para controlar y reducir las emisiones de GEI, que incluyen la cuantificación de la emisión de N₂O a partir del cultivo de soja (European Commission, 2013).

Por otra parte, a diferencia de los cultivos no leguminosos, en los cuales el aporte de fertilizantes nitrogenados es una fuente importante de emisión de N₂O, en los leguminosos como la soja se considera que la emisión proviene principalmente de la descomposición de sus residuos, del proceso de rizodeposición y del proceso de fijación biológica de nitrógeno (FBN) (Jensen, 1996). Este último proceso era considerado hasta hace poco un factor de emisión de N₂O (IPCC, 1996), pero el mismo IPCC lo ha excluido de sus directrices de inventario a partir de las normas IPCC (2006). Ello se debió a que se consideró que no había evidencia científica suficiente para incluir a la FBN como fuente de N₂O (Rochette y Janzen, 2005; Yang y Cai, 2005). Sin embargo, Cosentino et al. (2013) observaron, en un ensayo realizado a campo, tasas de emisión de N₂O desde el cultivo de soja en el estadio cercano a floración que no pudieron ser explicadas por las principales variables reguladoras de la emisión de N₂O (concentración de NO₃⁻, porcentaje del espacio poroso lleno de agua y temperatura). Este resultado generó la

necesidad de buscar las causas de este incremento en la emisión de N₂O durante este estadio del cultivo.

El proceso de FBN puede participar en la emisión de N₂O desde la zona cercana a la raíz, dado a que aumenta el contenido de N en el suelo que queda disponible y puede ser liberado a la atmósfera como N₂O (Snyder et al., 2009). El proceso de FBN comienza aproximadamente 30 días después de la siembra, aumenta hasta alcanzar su máximo aporte durante el periodo reproductivo y cae durante el llenado de grano (Zapata et al., 1987). Sey et al. (2010) observaron que el 78% de las emisiones de N₂O emitidas durante el ciclo de vida del cultivo de soja ocurre durante la etapa de crecimiento vegetativo.

En la actualidad se continua discutiendo si el proceso de FBN aumenta o no la emisión de N₂O desde la rizósfera de los cultivos leguminosos (Rochette y Janzen, 2005; Jantalia et al., 2008; Jensen et al., 2012). Más aún, existe controversia acerca del grado de verosimilitud de la emisión de N₂O desde cultivos leguminosos, calculadas usando los factores de emisión por defecto del IPCC (IPCC, 1996, 2001). Es por ello que es relevante saber en qué medida esta metodología sobrestima o subestima los valores de emisión de N₂O. El objetivo del presente trabajo fue analizar comparativamente la emisión de N₂O desde cultivos de soja con y sin FBN, para dar respuesta al interrogante planteado por resultados previos observados por Cosentino et al. (2013), quienes observaron alta emisión de N₂O desde el suelo con cultivo de soja, en el estadio cercano a la floración.

Materiales y métodos

Sitio experimental y muestreo

Se trabajó en el campo experimental del INTA Castelar, provincia de Buenos Aires, Argentina (34° 36' 49" S, 58° 39' 31" O) en cultivos de soja sembrados en un suelo Argiudol Vértico de la Serie Hurlingham. El suelo de estudio esta compuesto por un horizonte A de 19 cm de profundidad, el cual presenta estructura en bloques subangulares, gruesos, débiles que se deshacen bajo leve presión en agregados granulares finos, porosos. La textura superficial del suelo es franco arcillo limosa (30% arcilla, 49% de limo y 21% de arena), con un porcentaje de carbono orgánico de 2.29% en el horizonte A, seguido de un horizonte BA que va desde los 19 a los 30 cm, un horizonte Bt1 entre los 30 y 60, seguido de un Bt2 entre los 60 y los 90 cm, un horizonte BC que se extiende desde los 90 hasta los 125 cm y finalmente un horizonte Ck entre los 125 y los 145 cm (Castiglioni et al., 2005).

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

² Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA)

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

* Autor de contacto. Correo electrónico: cosentino.vanina@inta.gob.ar

Se realizó un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones, cuyos tratamientos fueron dos variedades de soja genéticamente modificadas (tratamientos): variedad nodulante (LAE 0176403) y variedad no nodulante (LAE 0176402). La siembra se realizó el 27 de octubre de 2011, con una densidad aproximada de 40 plantas m⁻², y se regó al momento de la siembra para homogeneizar la emergencia de las plántulas. En los casos en que fue necesario, el cultivo fue regado y se realizaron las prácticas de manejo necesarias para evitar la pérdida total o parcial del cultivo por adversidades fitosanitarias. Con el fin de evitar el aporte de la emisión de N₂O por la descomposición, tanto de la parte aérea como de las raíces, el ensayo se finalizó antes del estadio de madurez fisiológica (R₇) ya que esta etapa suele estar acompañada de la caída de las hojas.

Para la determinación de emisiones de N₂O, se trabajó con cámaras cerradas, no ventiladas rectangulares de 0.13 m² de área y 0.13 m de altura. De acuerdo con los criterios de Rochette y Eriksen-Hamel (2008), las cámaras están formadas por dos partes: i) una base de hierro, la cual fue anclada al suelo 24 h antes de realizar la colecta del gas y con una inserción al suelo mayor a 5 cm, y ii) una parte plástica (la cámara propiamente dicha) que se coloca al momento de la toma de las muestras y es removida una vez terminada la colecta del N₂O.

Las cámaras fueron ubicadas a una distancia aproximada de cinco metros entre sí y colocadas de manera tal de obtener de N₂O procedentes tanto del surco como del entresurco del cultivo. Del interior de cada una de las cámaras se tomaron tres muestras de N₂O para calcular la emisión y verificar la linealidad en la misma. Las muestras de N₂O fueron extraídas utilizando una bomba de vacío a los 0, 20 y 40 minutos luego de la colocación de la parte superior de la cámara (cámara plástica). Las muestras de N₂O fueron luego inyectadas en viales (frascos sellados) de 25 mL. Las mediciones de flujo fueron realizadas por triplicado dentro de cada tratamiento. Las muestras de N₂O fueron colectadas en el horario de la mañana (9 - 12 a.m.), ya que mejor representa la emisión de N₂O media diaria para la zona de estudio (Cosentino et al., 2012).

Determinaciones

La concentración de N₂O dentro de cada frasco fue determinada mediante el uso de un cromatógrafo de gases GC 6890 Agilent Technologies Network (Agilent Network GC System, ÁECD). El flujo de N₂O desde el suelo hacia la atmósfera se calculó mediante la siguiente Ec. 1:

$$f = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{m}{V_m} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde $\Delta C/\Delta t$ es el cambio en la concentración de N₂O dentro la cámara durante el tiempo de incubación (Δt), V es el volumen de la cámara (16.7 dm³), A es el área

de suelo cubierta por la cámara (0.13 m²), m es el peso molecular de N₂O y V_m es el volumen molar N₂O. El flujo de gas se calculó como el incremento en la concentración de N₂O durante el periodo de incubación.

Conjuntamente con la toma del gas, se midió la temperatura del aire a la sombra sobre la superficie del suelo y la temperatura del suelo cercano a las cámaras a los 0.10 m de profundidad. Luego del muestreo del N₂O, se colectaron muestras de suelo al costado de las cámaras para determinar la concentración de N-NO₃⁻ por colorimetría (Keeney y Nelson, 1982), luego de la reducción del nitrato a nitrito a partir de la extracción con una solución de CuSO₄ (Jackson, 1958) sobre las muestras de suelo húmedo. Se determinó la densidad aparente (Dap) por el método del cilindro (100 cm³, 0.05 m de diámetro) y el contenido hídrico gravimétrico (CHg) por secado en estufa a 105 °C. A partir de los valores de Dap y densidad de partícula (Dp) se calculó la porosidad total (PT), suponiendo una Dp de 2.65 Mg m⁻³ y el contenido de hídrico volumétrico (CHv) usando las Ec. 2 y 3.

$$PT (\%) = 1 - (Dap / Dp) * 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$CHv (\%) = CHg * Dap * 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

El porcentaje del espacio poroso lleno de agua (EPLLA, %) se calculó a partir de los valores de PT y CHv utilizando la Ec. 4.

$$EPLLA (\%) = PT (\%) / CHv (\%) \quad (\text{ec. 4})$$

Se realizó un análisis de regresión para verificar la linealidad de la emisión de N₂O desde el suelo durante el tiempo de muestreo del gas. Se realizaron regresiones lineales de la emisión de N₂O en función del contenido de nitrato del suelo y del EPLLA, y se analizaron las diferencias entre medias por medio de sus varianzas (ANOVA). Todos los análisis se realizaron mediante la utilización del programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2010).

Resultados

Previo a la realización del primer muestreo se corroboró la presencia de nódulos en las plantas correspondientes al tratamiento nodulante, y su ausencia en las no nodulantes. Los tratamientos no presentaron diferencias visibles en el tamaño de las plantas y estadio fenológico hasta los 54 días después de la siembra (DDS). Las diferencias recién comenzaron a percibirse a partir de los 75 DDS, momento en que las plantas correspondientes al tratamiento nodulante presentaron mayor tamaño y una coloración verde más intensa.

El suelo del ensayo presentó un valor de Dap de 1.43 Mg m⁻³, el cual fue significativamente ($p < 0.05$) superior al observado en suelos cercanos no cultivados (1.2 Mg m⁻³). El EPLLA siempre superó el 40% y no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$). La temperatura del suelo siempre superó los 22 °C (Figura 1). La altura promedio final para el cultivo de soja nodulante

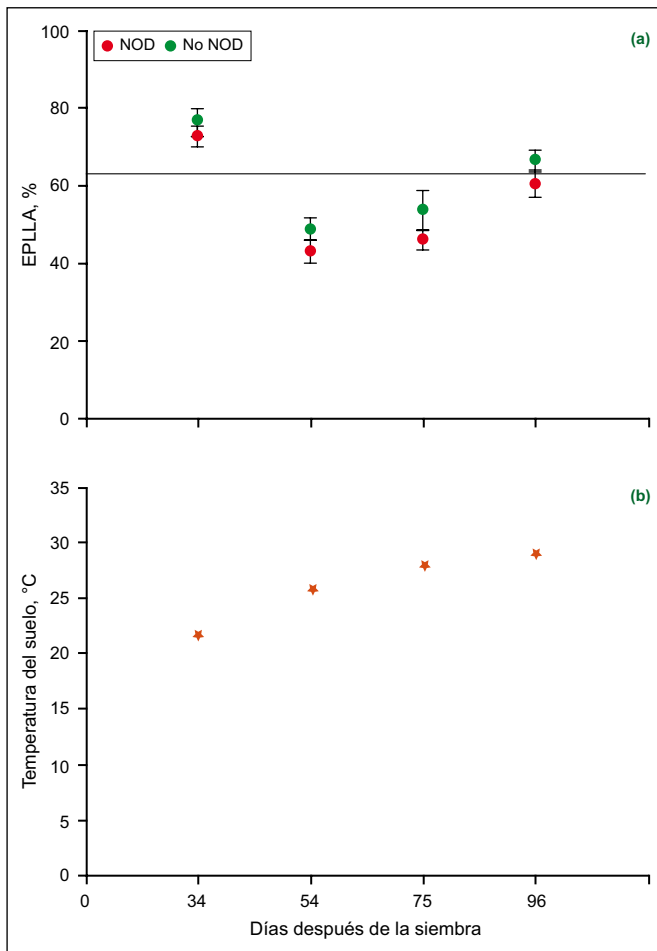


Figura 1. (a) Espacio poroso lleno de agua (EPLLA) expresado en porcentaje en plantas nodulantes (círculos llenos) y en no nodulantes (círculos vacíos) para las cuatro fechas de muestreo en días después de la siembra. La línea continua representa el 65 % del EPLLA, (b) Temperatura del suelo para las cuatro fechas de muestreo en días después de la siembra. Las barras verticales representan el desvío estándar.

fue 0.8 m, llegando a cubrir por completo el entresurco, mientras que la del cultivo de soja no nodulante fue de 0.7 m y no cubrió completamente el entresurco.

La concentración de $N-NO_3^-$ del suelo disminuyó en ambos tratamientos hasta los 75 DDS. A partir de ese momento, la concentración de $N-NO_3^-$ en el suelo con cultivo nodulante se mantuvo constante hasta la cuarta fecha de muestreo (96 DDS), mientras la concentración de $N-NO_3^-$ del suelo con cultivo no nodulante continuó disminuyendo (**Figura 2**).

La emisión de N_2O varió entre 15 y $-9 \mu g N_2O-N m^{-2} h^{-1}$. Sólo a los 96 DDS se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la emisión de N_2O entre los tratamientos, con valores de emisión mayores en el tratamiento con planta no nodulantes (**Figura 3**).

La emisión de N_2O presentó una relación positiva y significativa ($p > 0.05$) con la concentración de $N-NO_3^-$ del suelo para el tratamiento con cultivo nodulante ($R^2 = 0.46$), no así con el cultivo no nodulante (**Figura 4**). En el caso de EPLLA, hubo una relación positiva con la emisión de N_2O

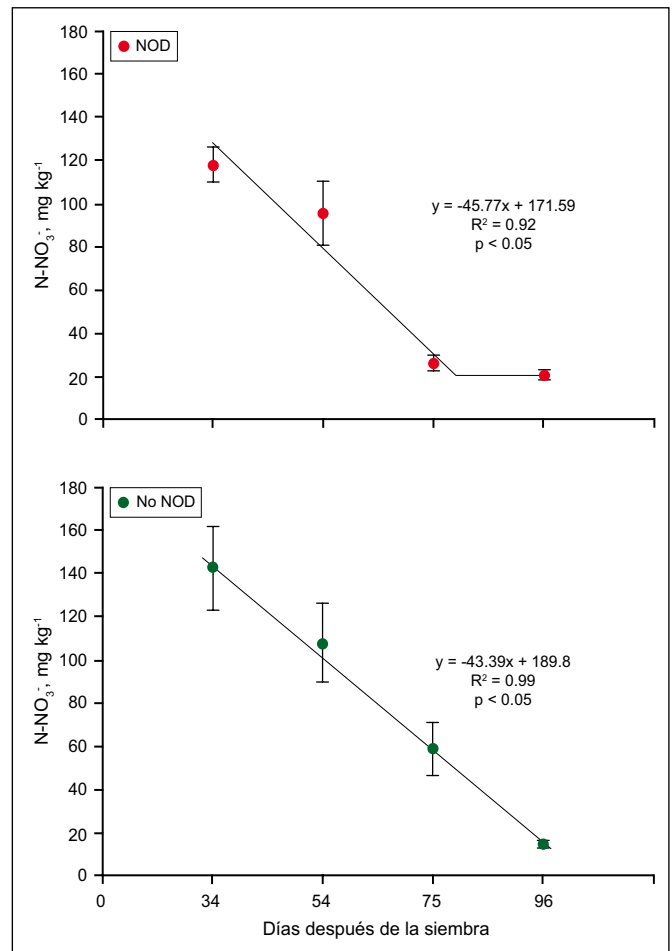


Figura 2. Concentración de nitrato ($N-NO_3^-$) del suelo en plantas nodulantes (círculos rojos) y en no nodulantes (círculos verdes) para las cuatro fechas de muestreo en días después de la siembra. Las barras verticales representan el desvío estándar.

para el tratamiento nodulante ($R^2 = 0.318$), y una relación positiva y significativa ($p > 0.05$) con el tratamiento no nodulante ($R^2 = 0.71$, **Figura 5**).

Discusión

A excepción de la última fecha de muestreo, donde el tratamiento con cultivo no nodulante emitió más N_2O que el tratamiento con cultivo nodulante, los valores de emisión de N_2O del presente ensayo no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Esto indica que la presencia de nódulos fijadores per se no afectó la cantidad de N_2O emitida durante el crecimiento del cultivo de soja. Estos resultados difieren de los hallados por Ghosh et al. (2002), quienes observaron mayor emisión de N_2O desde cultivos leguminosos en relación a cultivos no leguminosos. Esta mayor emisión de N_2O fue atribuida a la presencia de exudados ricos en N que estimulan la actividad microbiana y promueven el consumo de oxígeno, generando así micrositios de anaerobiosis temporal en el suelo que favorecen el proceso de desnitrificación (Siddique et al., 2012). Ello no sucedió en el presente ensayo, en el cual la utilización de plantas de soja no nodulante permite asemejar su comportamiento respecto al N a las especies no leguminosas.

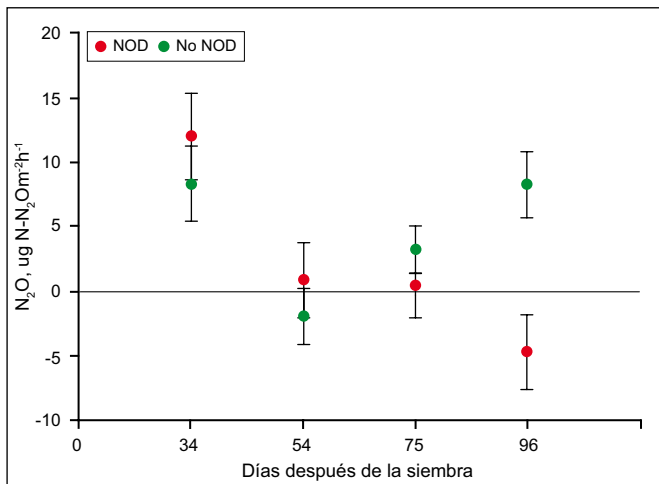


Figura 3. Emisiones de óxido nitroso (N₂O) en plantas nodulantes (círculos rojos) y no nodulantes (círculos verdes) para las cuatro fechas de muestreo en días después de la siembra. La línea horizontal representa la emisión nula. Las barras verticales representan el desvío estándar.

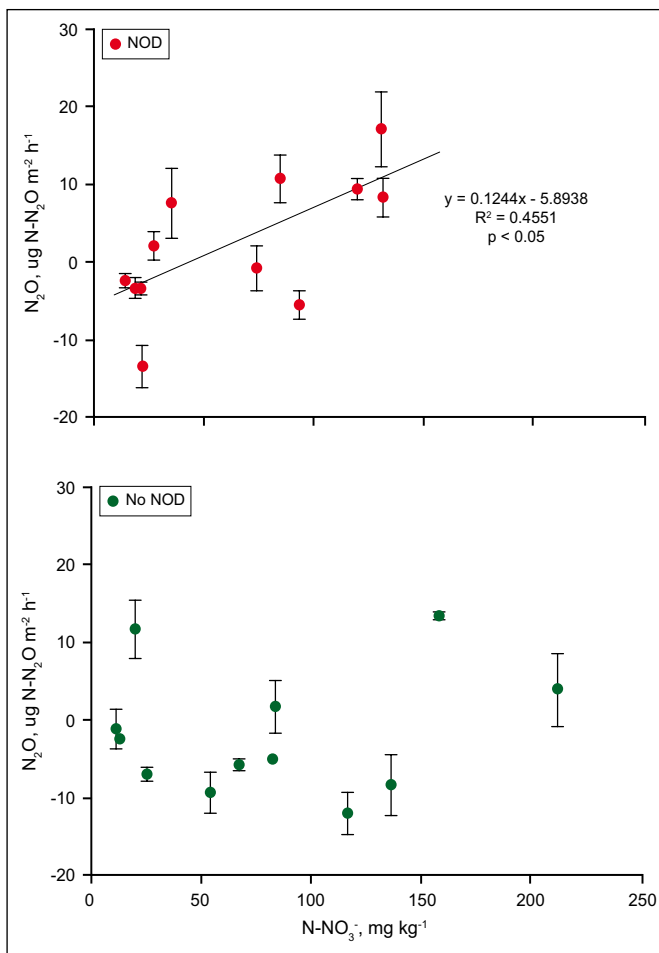


Figura 4. Emisiones de óxido nitroso (N₂O) en función de la concentración de N-NO₃⁻ en plantas nodulantes (círculos rojos) y no nodulantes (círculos verdes).

Los resultados del presente ensayo se asemejan a lo hallado por Alves et al. (Alves comunicación personal en Jensen et al., 2012) en otro ensayo comparativo de soja nodulante versus no nodulante. En ambos ensayos, la emisión de N₂O fue baja y estadísticamente similar entre los tratamientos. En el mismo sentido, Jantalia et al. (2008) monitorearon

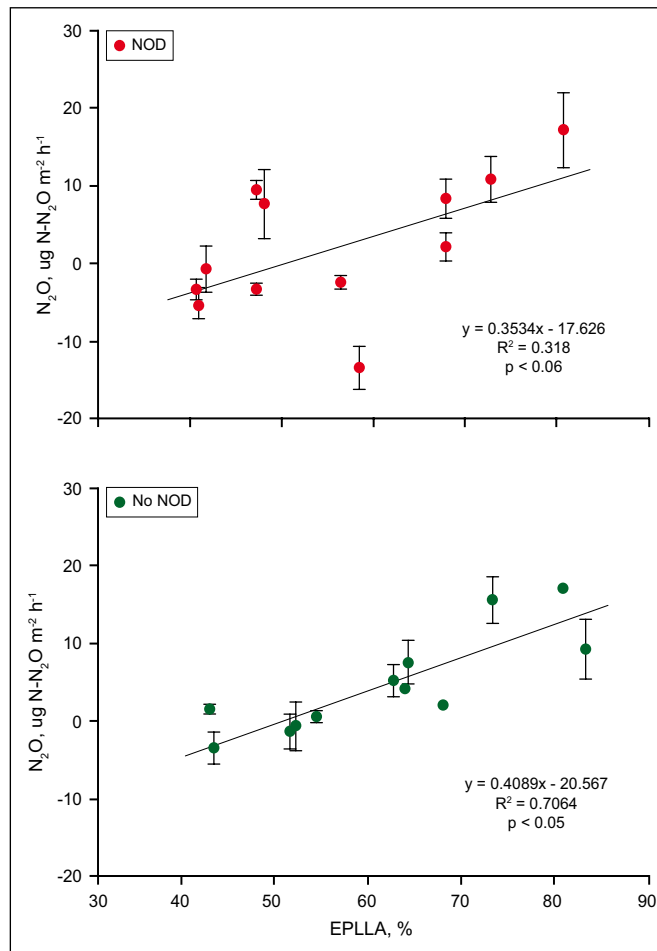


Figura 5. Emisiones de óxido nitroso (N₂O) en función del porcentaje de espacio poroso lleno de agua (EPLLA) en plantas nodulantes (círculos rojos) y no nodulantes (círculos verdes).

dos sistemas diferentes de doble cultivo invierno-estival a lo largo de dos años consecutivos. Estos autores observaron que la emisión de N₂O a partir de la secuencia con doble cultivo leguminoso (soja-arveja) fue baja y similar a la proveniente de la secuencia maíz-trigo. Los autores Yang y Cai (2005), quienes también evaluaron la emisión de N₂O durante el ciclo del cultivo de soja, mostraron que más del 90% de la emisión de N₂O es producida durante la estación de crecimiento principalmente durante el periodo cercano a la madurez fisiológica del cultivo. Estos autores propusieron que la emisión de N₂O posiblemente proviene del N liberado por los nódulos y las raíces en descomposición, y no por la FBN.

Los valores de emisión de N₂O observados en el presente ensayo fueron menores a los observados por Cosentino et al. (2013) en un suelo de textura franca y con mejor calidad estructural. Una posible explicación a la baja emisión de N₂O desde el suelo de estudio puede hallarse en la elevada compactación del suelo. En efecto, puede afirmarse que un valor de $D_{ap} = 1.40 \text{ Mg m}^{-3}$ equipara los valores de densidad máxima Proctor determinados en suelos de textura y calidad similar al estudiado (Micucci y Taboada, 2006), mostrando la existencia de compactación del suelo estudiado. Esta compactación del suelo lleva a cambios en la proporción de los diferentes tamaños de

poros (i.e. aumento de la mesoporosidad a expensas de la macroporosidad, Hill et al., 1985). Esta pérdida de macroporos o poros estructurales afecta la capacidad de difusión del gas dentro del suelo, la cual está relacionada con el factor de impedancia, dependiente del tamaño, la forma y la orientación de los poros en el suelo (Taylor y Brar, 1991; Fen et al., 2009). El flujo de un gas entre el suelo y la atmósfera es el resultado de tres procesos básicos: la producción, el consumo y el transporte (Conrad, 1996). Por esto, podría pensarse que la falta de poros estructurales podría haber reducido la velocidad a la cual el N_2O se movió desde el suelo hacia la atmósfera, dejándolo disponible dentro del suelo para ser reducido a N_2 por la enzima nitroso-reductasa, lo que podría explicar por qué se observaron valores de emisión de N_2O menores que los esperados. Dado que la Dap no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, no existe evidencia para pensar que la compactación afectó diferencialmente los resultados.

En el tratamiento con soja nodulante, la concentración de $N-NO_3^-$ del suelo explicó parcialmente la emisión de N_2O ($R^2 = 0.46$, $p < 0.05$, **Figura 4**). Esta relación positiva entre la emisión de N_2O y la concentración de $N-NO_3^-$ también fue descrita por McSwiney y Robertson (2005), quienes observaron una respuesta similar bajo condiciones de campo en un ensayo fertilizado. También se observó una relación positiva entre la emisión de N_2O y el EPLLA (**Figura 5**), con valores de $R^2 = 0.70$ y $p < 0.05$ para el cultivo de soja nodulante y de $R^2 = 0.32$ y $p < 0.056$ para no nodulante. Estos resultados concuerdan con lo observado por otros autores en condiciones de invernáculo (Shelton et al., 2000; Schindlbacher y Zechmeister-Boltenstern, 2004) y de campo (Almaraz et al., 2009). Pero se oponen a lo observado por Jantalia et al. (2008) en un ensayo realizado a campo, quienes encontraron una relación negativa entre la emisión de N_2O y el EPLLA.

La emisión de N_2O fue baja en todo el ensayo, sin diferencias entre tratamientos excepto para la última fecha de muestreo (96 DDS) (**Figura 3**). Cuando el EPLLA del suelo supera el 60%, comienza a cobrar importancia el proceso de desnitrificación en detrimento de la nitrificación, como fuente de emisión de N_2O (Linn y Doran, 1984). La desnitrificación alcanza un máximo cuando el EPLLA supera el valor crítico de 65% (Clayton et al., 1997), nivel a partir del cual pequeñas diferencias en el contenido hídrico del suelo pueden derivar en importantes diferencias en la emisión de N_2O (Bateman y Baggs, 2005). Ello pudo haber sucedido en la última fecha de muestreo (96 DDS), cuando el valor de EPLLA fue cercano a ese valor crítico y además ligeramente mayor en el suelo con el tratamiento con cultivo no nodulante. Es posible que el mayor EPLLA en el tratamiento con soja no nodulante haya causado emisiones de N_2O significativamente más altas en este tratamiento, aun cuando los valores en bruto de emisión de N_2O fueron bajos. Resultados similares fueron observados por Bateman y Baggs (2005), con valores de emisión de N_2O hasta 10 veces más elevadas cuando el

EPLLA del suelo aumento de 60% a 70%, hecho atribuido al proceso de desnitrificación. Estos resultados coinciden con lo recomendado por las últimas directrices de IPCC (2006) y cuestionan la decisión de cargar con más emisión de N_2O al cultivo de soja.

Conclusión

En el presente trabajo, en que se analizó comparativamente la emisión de N_2O desde cultivos de soja con y sin FBN, la soja nodulante no emitió mayor cantidad de N_2O que la no nodulante. En consecuencia, la presencia de nódulos fijadores per se no afectó la cantidad de N_2O emitida durante el crecimiento del cultivo de soja.

Bibliografía

- Almaraz, J.J., X. Zhou, F. Mabood, C. Madramootoo, P. Rochette, B.L. Ma y D.L. Smith. 2009. Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in southwestern Quebec. *Soil y Tillage Research*. 104(1):134-139.
- Bateman, E.J., y E.M. Baggs. 2005. Contributions of nitrification and denitrification to N_2O emissions from soils at different water-filled pore space. *Biology and Fertility of Soils*. 41:379-388.
- Castiglioni, M.G., H.J.M. Morrás, y O.J. Santanatoglia. 2005. Influencia de la organización y composición del espacio poroso y la matriz en la dinámica hídrica de distintos argiudoles de la Pampa Ondulada. Tesis de Maestría. Escuela para Graduados de la Facultad de agronomía de la UBA. 17-19.
- Clayton, H., I.P. McTaggart, J. Parker, L. Swan, y K.A. Smith. 1997. Nitrous oxide emissions from fertilised grassland: A 2-year study of the effects of N fertiliser form and environmental conditions. *Biology and Fertility of Soils* 25(3):252-260.
- Conrad, R. 1996. Soil Microorganisms as Controllers of Atmospheric Trace Gases (H_2 , CO, CH_4 , OCS, N_2O and NO). *Microbiological Reviews*. 60:609-640.
- Cosentino, V.R.N., P.L. Fernandez, S.A. Figueiro Aureggi, y M.A. Taboada. 2012. N_2O emissions from a cultivated mollisol: optimal time of day for sampling and the role of soil temperature. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36:1814-1819.
- Cosentino, V.R.N., S.A. Figueiro Aureggi, y M.A. Taboada. 2013. Hierarchy of factors driving N_2O emissions in non-tilled soils under different crops. *European Journal of Soil Science*. 64(5):550-557.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, y M.G. Balzarini. 2010. Infostat v2010. Grupo Infostat FCA, Univ. Nacional de Córdoba, Argentina.
- European Commission. 2013. Assessing GHG default emissions from biofuels in EU legislation. JRC Scientific and Policy Reports. Review of the input database to calculate 'Default GHG emissions', following expert consultation, 22–23 November 2011, Ispra (Italy).

- Fen, C.S., Y. Huang, y J.L. Chen. 2009. Experimental study of gas transport parameters in unsaturated silica flour. *Vadose Zone Journal*. 8(2):373-382.
- Ghosh, S., D. Majumdar, y M.C. Jain. 2002. Nitrous oxide emissions from kharif and rabi legumes grown on an alluvial soil. *Biology and Fertility of Soils*. 35(6):473-478.
- Hill, R.L., R. Horton y R.M. Cruse. 1985. Tillage Effects on Soil Water Retention and Pore Size Distribution of Two Mollisols1. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49(5):1264-1270.
- INDEC. 2014. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. <https://www.indec.gov.ar>. Acceso: 1-4-2014.
- InfoStat. 2010. InfoStat Versión 2010 Software (Córdoba, Argentina): Universidad Nacional de Córdoba, Fac. de Cs. Agropecuarias. Grupo InfoStat.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs2.html>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. .
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4. Agriculture, forestry and other land use (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4html>).
- Jackson, M.L. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Jantalia, C.P., H.P. dos Santos, S. Urquiaga, R.M. Boddey, y B.J.R. Alves. 2008. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. *Nutr Cycl Agroecosyst*. 82:161-173.
- Jensen, E.S. 1996. Rhizodeposition of N by pea and barley and its effect on soil N dynamics. *Soil Biology y Biochemistry*. 28(1):65-71.
- Jensen, E.S., M.B. Peoples, R.M. Boddey, P.M. Gresshoff, H. Hauggaard-Nielsen, B.J.R. Alves, y M.J. Morrison. 2012. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32(2):329-364.
- Keeney, D.R., y D.W. Nelson, 1982, Nitrogen-Inorganic Forms, In: Page, AL, RH Millery DR Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2.* . American Society of Agronomy - Soil Science Society of America Madison, Wisconsin, pp. 643-698.
- Linn, D.M., y J.W. Doran. 1984. Effect of Water-Filled Pore Space on Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Production in Tilled and Nontilled Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 48(6):1267-1272.
- McSwiney, C.P., y G.P. Robertson. 2005. Nonlinear response of N₂O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize *Zea mays* L. cropping system. *Global Change Biology*. 11:1712-1719.
- Micucci, F.G., y M.A. Taboada. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally-and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*. 86:152-162.
- Rochette, P., y N.S. Eriksen-Hamel. 2008. Chamber measurements of soil nitrous oxide flux: are absolute values reliable? *Soil Science Society of America Journal* 72:331-342.
- Rochette, P., y H. Janzen. 2005. Towards a revised coefficient for estimating N₂O emissions from legumes. *Nutr Cycl Agroecosyst*. 73(2):171-179.
- Schindlbacher, A., y S. Zechmeister-Boltenstern. 2004. Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂, and N₂O emissions from European forest soils. *Journal of Geophysical Research*. 109(D17):D17302.
- Sey, B., A. Manceur, J. Whalen, E. Gregorich, y P. Rochette. 2010. Root-derived respiration and nitrous oxide production as affected by crop phenology and nitrogen fertilization. *Plant Soil*. 326(1-2):369-379.
- Shelton, D.R., A.M. Sadeghi, y G.W. McCarty. 2000. Effect of Soil Water Content on Denitrification During Cover Crop Decomposition. *Soil Science*. 165(4):365-371.
- Siddique, K.M., C. Johansen, N. Turner, M.H. Jeuffroy, A. Hashem, D. Sakar, Y. Gan, y S. Alghamdi. 2012. Innovations in agronomy for food legumes. A review. *Agronomy for sustainable development*. 32(1):45-64.
- Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, y P.E. Fixen. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 133(3-4):247-266.
- Taylor, H.M., y G.S. Brar. 1991. Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Research*. 19(2-3):111-119.
- Yang, L., y Z. Cai. 2005. The effect of growing soybean (*Glycine max*. L.) on N₂O emission from soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 37(6):1205-1209.
- Zapata, F., S.K.A. Danso, G. Hardarson, y M. Fried. 1987. Time Course of Nitrogen Fixation in Field-Grown Soybean Using Nitrogen-15 Methodology. *Agron. J.* 79(1):172-176.

Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires

II. Efectos sobre el calibre y los componentes del rendimiento

P. Prystupa^{1*}, G. Ferraris², L. Ventimiglia³, T. Loewy⁴, L. Couretot², R. Bergh⁵ y F.H. Gutiérrez-Boem¹

Introducción

La calidad industrial de la cebada cervecera está asociada al tamaño o calibre y al contenido proteico de los granos (Briggs, 1998). La determinación del calibre se realiza pasando una muestra de granos por un juego de tres zarandas. El estándar de comercialización vigente en nuestro país determina que las partidas de cebada cervecera deben tener más de 85% de la suma de las fracciones retenidas en las zarandas de 2.5 y 2.8 mm (primera + segunda fracción).

La cebada debe tener un contenido proteico intermedio, ni excesivamente alto ni muy bajo, por lo que el manejo adecuado de la fertilización nitrogenada es fundamental para alcanzar altos rendimientos y adecuada calidad industrial simultáneamente. Las investigaciones realizadas en la provincia de Buenos Aires han permitido establecer que las variedades actualmente cultivadas de cebada pueden tener una alta respuesta a la fertilización nitrogenada, tanto en términos de rendimiento como de contenido proteico (Daverede et al., 2013; Ferraris et al., 2014; Ross et al., 2011; Ross et al., 2013). Esta respuesta puede estar acompañada por disminuciones del calibre de los granos (Daverede et al., 2013; Ross et al., 2011; Ross et al., 2013).

Una alternativa para aumentar el contenido de proteínas de los granos consiste en complementar las fertilizaciones nitrogenadas realizadas entre siembra y macollaje, con aplicaciones foliares durante espigazón. Esta aplicación se realiza cuando ya ha transcurrido una parte del ciclo del cultivo, razón por la cual se podría diagnosticar la necesidad de fertilización con mayor precisión.

En la región pampeana, las deficiencias de azufre (S) constituyen una de las tres principales limitantes nutricionales para la productividad de los cultivos. Aunque se han observado respuestas a la fertilización azufrada en diversos cultivos (Ejemplo, en trigo; Salvagiotti et al., 2009), en cultivos de cebada del sur de la provincia Buenos Aires no se comprobaron efectos generalizados de esta fertilización (Ross et al., 2011). En la literatura científica existen escasos trabajos en los que se evalúe el efecto de las deficiencias de S sobre el calibre de la cebada cervecera y los resultados obtenidos son contradictorios.

En esta serie de artículos presentamos los resultados finales de una red de experimentos iniciada en el marco

del convenio INTA-Fertilizar. Incluimos información que ya ha sido presentada parcialmente en esta revista (Prystupa et al., 2008) y en diversos congresos. En el primer trabajo de esta serie (Prystupa et al., 2016) describimos los efectos de la fertilización nitrogenada y azufrada entre siembra y macollaje y de la fertilización nitrogenada en espigazón, sobre el rendimiento, y el contenido proteico de los granos. En este segundo artículo describimos los efectos sobre el calibre y su relación con los componentes del rendimiento.

Materiales y métodos

Entre los años 2005 y 2008 se realizaron 25 experimentos distribuidos en el área de cultivo de cebada de la provincia de Buenos Aires. Se empleó la variedad Scarlett y se realizaron las prácticas culturales habituales para cada región. Todos los tratamientos fueron fertilizados con 20 kg de P ha⁻¹ a la siembra. En Prystupa et al. (2016) se describen más detalles de los experimentos.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, excepto en los sitios de Junín y Baigorrita, donde se realizaron cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados correspondieron a la combinación de distintos niveles de fertilización nitrogenada y azufrada a la siembra, y fertilización nitrogenada en espigazón (**Tabla 1**). Los diferentes niveles de nitrógeno (N) inicial se establecieron como la suma del N de nitrato presente en el suelo antes de la siembra (0-60 cm de profundidad), y el N aplicado con el fertilizante nitrogenado. Los tratamientos fertilizados con S recibieron 10 kg de S ha⁻¹, en una fuente soluble junto con la fertilización nitrogenada inicial. La fertilización nitrogenada se realizó durante macollaje en los ensayos realizados en el sur de la provincia (ensayos 1 a 10), e inmediatamente después de la siembra, en los realizados en el norte de la provincia (ensayos 10 a 25). Para ello, se aplicó urea en todos los experimentos, excepto en los ensayos 5 a 10 donde se empleó UAN. La fertilización nitrogenada foliar en espigazón se realizó aplicando urea en solución con bajo contenido de biuret sobre el canopeo.

La cosecha se efectuó en forma manual y se trilló en trilladora estacionaria. Sobre las muestras obtenidas se determinó el calibre empleando un sistema de zarandas calibradas Sortimat, que permite clasificar los granos en cuatro clases

¹ Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA)

² EEA INTA Pergamino

³ UEEA INTA 9 de Julio

⁴ EEA INTA Bordenave

⁵ EEA INTA-MAA Chacra Experimental Integrada de Barrow

* Autor de contacto. Correo electrónico: prystupa@agro.uba.ar

Tabla 1. Tratamientos realizados en los ensayos evaluados.

Tratamiento	N inicial	Cantidad de nutriente aplicada	
	N-NO ₃ en el suelo + N del fertilizante kg N ha ⁻¹	S en siembra	N en espigazón
N0	N-NO ₃ en el suelo	0	0
N1	70 (ó 100)	0	0
N2	100 (ó 130)	0	0
N3	130 (ó 160)	0	0
N1S	70 (ó 100)	10	0
N2S	100 (ó 130)	10	0
N3S	130 (ó 160)	10	0
N1SNe	70 (ó 100)	10	20
N2SNe	100 (ó 130)	10	20
N3SNe	130 (ó 160)	10	20

Nota: El N inicial indicado entre paréntesis indica los niveles de disponibilidad de N empleados en los experimentos 7, 8, 13, 20, 21 y 24. Ne representa N aplicado en espigazón del cultivo.

de acuerdo a su ancho: mayor a 2.8 mm (primera), entre 2.8 y 2.5 mm (segunda), entre 2.5 y 2.2 mm (tercera) y menor a 2.2 mm (cuarta). El calibre está conformado por la suma de las fracciones primera y segunda.

En 17 experimentos fueron evaluados los componentes del rendimiento. Para ello, de las muestras de granos obtenidas en cada parcela se pesaron tres submuestras de 100 granos cada una, para calcular el peso unitario y el número de granos por unidad de superficie.

Los resultados se analizaron por análisis de varianza. Cuando el efecto de los tratamientos fue significativo, se realizaron contrastes entre medias previamente planeados utilizando diferencia mínima significativa. La descripción de los contrastes se encuentra en (Prystupa et al., 2016). Para determinar el efecto simple del N inicial, las interacciones entre este y el S, y la interacción entre el N inicial y el N en espigazón, se combinaron contrastes. Las relaciones entre las variables fueron analizadas mediante regresiones simples y múltiples. Las variables independientes en las regresiones múltiples fueron seleccionadas mediante el método de stepwise, considerando los efectos lineales, cuadráticos y las interacciones entre las variables, teniendo en cuenta que ninguna variable independiente posea un variance influence factor (VIF) mayor a 2.

Resultados

Componentes del rendimiento

El número de granos por unidad de superficie varió mucho más que el peso unitario de granos. Los mayores valores de número de granos observados más que triplicaban a los menores valores, mientras que, en el caso del peso de granos, el valor más alto fue 1.3 veces mayor al más bajo. Dentro de los 15 experimentos en los que se midieron los componentes del rendimiento, la fertilización

nitrogenada inicial incrementó significativamente el número de granos en 6 de los 8 experimentos en que había aumentado el rendimiento significativamente y en uno en el que el incremento del rendimiento no llegó a ser significativo (datos no mostrados). El efecto de la fertilización azufrada y de la interacción entre la fertilización azufrada y la nitrogenada inicial sobre el número de granos, no fue significativo en ningún experimento. La fertilización nitrogenada en espigazón sólo disminuyó significativamente el número de granos en el experimento 24.

El peso unitario de los granos varió entre 31 y 42 mg. En dos experimentos (8 y 11) disminuyó significativamente por efecto de la fertilización nitrogenada. La fertilización azufrada aumentó significativamente el peso de los granos en dos experimentos (6 y 16). Sólo en el experimento 6, la fertilización nitrogenada en espigazón disminuyó significativamente esta variable.

Considerando todos los tratamientos y todos los sitios, el rendimiento se asoció positiva y significativamente tanto con el número de granos por unidad de superficie como con el peso unitario de los granos, aunque la asociación con el número de granos fue mucho más estrecha que con el peso unitario (**Ec. 1 y 2**). La asociación con el peso de granos fue curvilínea, indicando que, con altos rendimientos, la variación en el peso de grano es mucho menor que con bajos rendimientos.

$$\text{Rend} = 4105 \cdot \text{NG} - 3\,077\,000 \quad (R^2 = 0.967; p < 0.001; n = 143) \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{Rend} = -41.52 \text{ PUG}^2 + 3476.9 \text{ PUG} - 67362 \quad (R^2 = 0.493; p < 0.001; n = 143) \quad (\text{Ec. 2})$$

donde Rend es Rendimiento (kg ha⁻¹); NG es el número de granos (ha⁻¹) y PUG es la biomasa de un grano (mg).

Calibre

El calibre varió mucho entre experimentos y tratamientos. Se observaron valores entre 50% y 99%. La fertilización nitrogenada disminuyó significativamente el calibre en 10 experimentos (**Tabla 2**). Promediando todos los experimentos, el calibre disminuyó 0.6% (en términos absolutos), por efecto de la fertilización nitrogenada. En cambio, la fertilización azufrada incrementó significativamente el calibre en tres experimentos. La fertilización nitrogenada en espigazón afectó el calibre en tres experimentos, pero los efectos fueron variables: en dos experimentos el calibre subió y en uno disminuyó.

La disponibilidad de N por sí sola no pudo explicar las variaciones en el calibre (**Figura 1**). Pero cuando se consideraron, además, otras variables ambientales, el calibre se relacionó negativamente con el N disponible y en forma positiva con las precipitaciones de agosto y octubre (**Ec. 3**).

$$\begin{aligned} \text{CAL} = & 68.78 - 0.07294 \text{ Ndis} + 0.85101 \text{ AGO} - 0.00653 \\ & \text{AGO}^2 + 0.10248 \text{ OCT} \quad (R^2 = 0.426; R^2 \text{ Ajust.} = 0.394; \\ & \text{RSME} = 1\ 369\ 105; p < 0.001; n = 143) \quad (\text{Ec. 3}) \end{aligned}$$

donde CAL es calibre (%); AGO y OCT son las precipitaciones (mm) durante los meses respectivos y Ndis es el N en el fertilizante más N como NO_3^- de 0 a 60 cm de profundidad en pre-siembra (kg ha^{-1}).

El calibre se asoció en forma positiva con el peso unitario de los granos (**Figura 2a**). La relación fue curvilínea indicando que cuando el peso unitario de granos es relativamente alto (Ejemplo, mayores a 38 mg), sus variaciones se asocian con pequeñas variaciones en el calibre, mientras que cuando los pesos son bajos, se

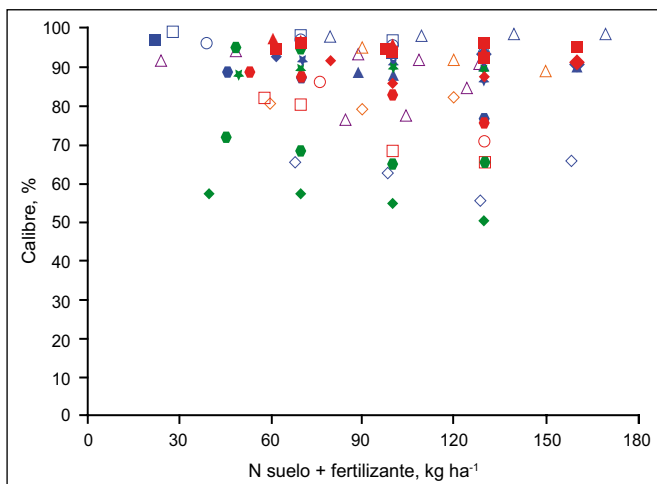


Figura 1. Calibre en función de la disponibilidad de N (N en el fertilizante + N en NO_3^- de 0 a 60 cm de profundidad) en los tratamientos N0, N1, N2 y N3 (sin fertilización azufrada ni nitrogenada en espigazón). Cada punto indica la media de las 3 ó 4 (de acuerdo al experimento) parcelas. Distintas formas de marcadores indican distintas localidades, distintos colores indican distintos años (rojo indica 2005, azul 2006, violeta 2007 y verde 2008). El número de observaciones es de 96.

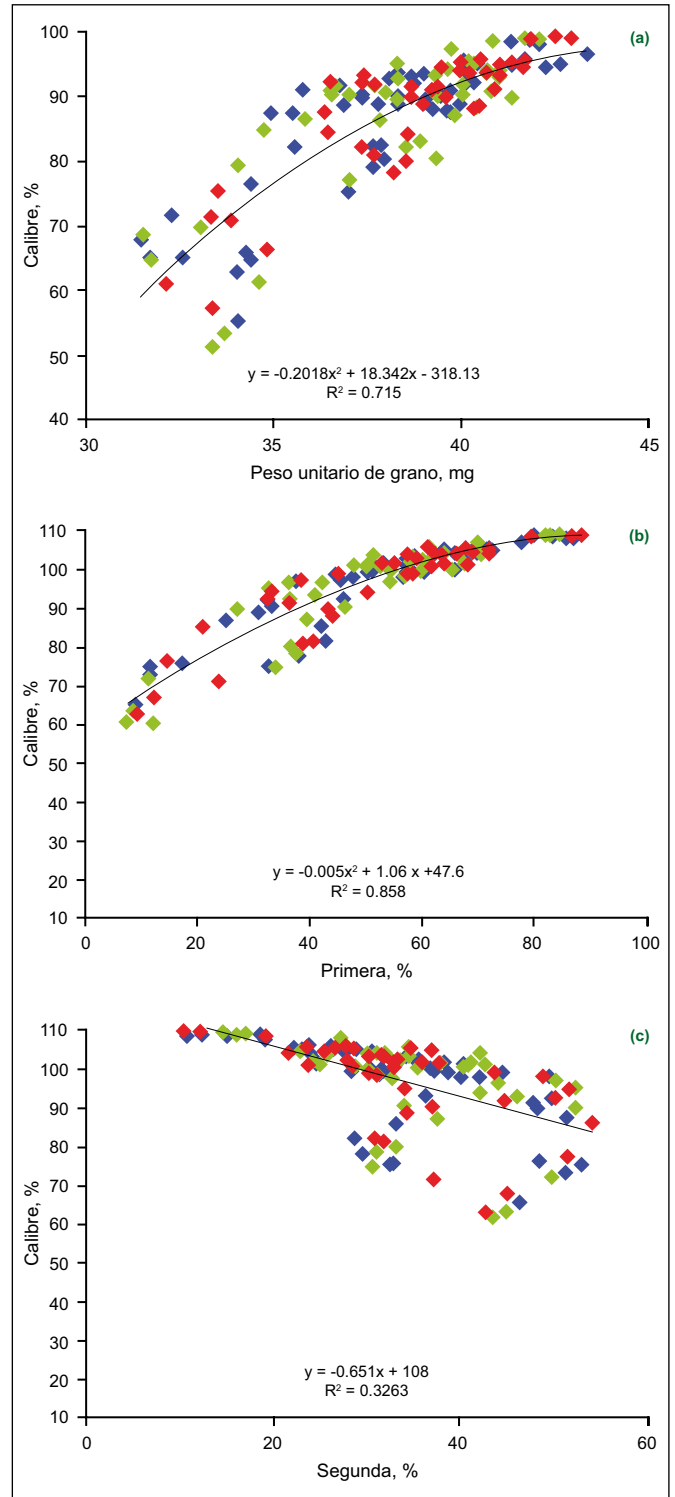


Figura 2. Calibre (%) en función del peso unitario de grano (a), de la primera fracción (b) y de la segunda fracción. Cada punto indica un tratamiento en un experimento. Cada punto indica la media de las 3 ó 4 (de acuerdo al experimento) parcelas. Puntos azules corresponden a tratamientos sin fertilización azufrada inicial ni nitrogenada en espigazón (trats. N0, N1, N2 y N3), puntos verdes corresponden a tratamientos con fertilización azufrada inicial pero sin fertilización nitrogenada en espigazón (trats. N1S, N2S y N3S) y puntos rojos corresponden a tratamientos con fertilización azufrada inicial y nitrogenada en espigazón (trats. N1SNe, N2SNe y N3SNe). Se indica la función ajustada. Todas las funciones fueron significativas ($p < 0.001$) y el número de observaciones es de 143.

Tabla 2. Respuesta del calibre al nitrógeno inicial (Ni), al azufre (S) y al nitrógeno en espigazón (Ne) y análisis de varianza en cada sitio. La respuesta al Ni se calculó como la diferencia entre el tratamiento N0 y el máximo de los tratamientos N1, N2 y N3. La respuesta al S se calculó como la diferencia entre los promedios de los tratamientos (N1, N2 y N3) y (N1S, N2S y N3S). La respuesta a Ne se calculó como la diferencia entre los promedios de los tratamientos (N1S, N2S y N3S) y (N1SNe, N2SNe y N3SNe). En el análisis de varianza, NS indica $p > 0.05$ y el número indica la probabilidad cuando $p < 0.05$.

Sitio	----- Respuesta, % -----			----- Análisis de varianza, valor p -----				
	Ni	S	Ne	Ni	S	Ni * S	Ne	Ni * Ne
1	-0.8	1.5	-1.0	0.006	0.007	NS	0.042	NS
2	-1.9	-6.2	4.0	0.025	NS	NS	NS	NS
3	1.0	-0.1	0.7	0.049	NS	NS	NS	NS
4	-3.0	-3.8	-4.4	0.011	NS	0.039	NS	NS
5	1.0	-6.0	3.4	NS	NS	NS	NS	NS
6	1.7	2.0	-1.0	NS	NS	NS	NS	NS
7	0.7	0.5	-0.1	NS	0.038	NS	NS	NS
8	-3.3	-1.3	3.2	0.001	NS	NS	0.004	NS
9	-0.9	-1.5	5.0	NS	NS	NS	0.001	NS
10	-7.0	3.6	-8.7	NS	NS	NS	NS	NS
11	-1.2	2.0	-0.2	0.003	0.018	NS	NS	NS
12	1.1	-0.3	0.8	NS	NS	NS	NS	NS
13	1.0	-0.6	0.1	NS	NS	NS	NS	NS
14	-0.5	0.9	1.6	NS	NS	NS	NS	NS
15	-0.9	-0.3	-0.7	0.001	NS	NS	NS	NS
16	1.8	0.1	0.1	NS	NS	NS	NS	NS
17	-1.7	1.6	-1.1	0.001	NS	NS	NS	NS
18	-1.2	0.3	0.3	0.007	NS	NS	NS	NS
19	-3.9	1.6	0.1	NS	NS	NS	NS	NS
20	1.5	0.0	1.5	NS	NS	NS	NS	NS
21	0.1	-0.6	2.3	NS	NS	NS	NS	NS
23	0.3	-1.5	-1.0	NS	NS	NS	NS	NS
24	1.7	1.5	-0.8	NS	NS	NS	NS	NS
25	-0.4	0.5	-0.6	0.003	NS	NS	NS	NS

asocian con variaciones en el calibre mayores. Esto se debe a que con pesos unitarios de grano por debajo de 38 mg (aproximadamente), las disminuciones del peso se asocian con disminuciones de la primera fracción, sin cambios importantes en la segunda fracción, mientras que con peso de granos mayores a 38 mg, los aumentos en el peso de grano se asocian con aumentos de la primera fracción, compensadas parcialmente por reducciones en la segunda. Passarella et al. (2003) observaron una relación similar entre calibre y peso unitario de granos cuando compararon 8 cultivares de cebada que han sido empleados en la región pampeana en distintos periodos históricos.

En esta red se observó que cuando aumenta la primera fracción, disminuye la segunda (**Ec. 4**), en forma similar a lo observado por Ross et al. (2013). Las variaciones en

el calibre se asociaron positivamente a las variaciones en la primera fracción y en forma negativa a la segunda fracción (**Figura 2b y 2c**).

El calibre varió, en mayor medida, como consecuencia de la variación de los ambientes entre los sitios experimentales y, en menor medida, por el efecto de los tratamientos. Para analizar las variaciones debido a los tratamientos en forma independiente de las variaciones debido a los ambientes, se calculó un índice que denominamos “calibre relativo”, dividiendo el calibre de cada tratamiento por el promedio de todos los tratamientos de cada experimento. De manera similar se calcularon los índices “primera relativa” y “segunda relativa”, dividiendo el valor de cada tratamiento por el promedio de cada sitio. El calibre relativo se asoció positivamente a la “primera fracción relativa” y en forma

negativa y poco robusta a la “segunda relativa” (Ec. 5 y 6). Es decir que las variaciones del calibre debidas a los tratamientos de fertilización estuvieron determinadas por variaciones en la primera fracción.

$$\text{Seg} = -0.0054 \text{ Pri}^2 + 0.0601 \text{ Pri} + 47.635 \quad (R^2 = 0.81; \quad p < 0.001; n = 143) \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\text{CalRel} = 0.257 \text{ PriRel} - 0.743 \quad (R^2 = 0.72; p < 0.001; \quad n = 143) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{CalRel} = -0.0694 \text{ SegRel} + 1.0694 \quad (R^2 = 0.05; p = 0.026; \quad n = 143) \quad (\text{Ec. 6})$$

donde Seg es Segunda fracción (%); Pri es Primera fracción (%); CalRel es el calibre dividido el promedio de calibre de cada experimento; PriRel es la primera fracción dividido por el promedio de la primera fracción de cada experimento; y SegRel es la segunda fracción dividido por el promedio de la segunda fracción de cada experimento.

Conclusiones

- La disponibilidad hídrica tuvo una gran importancia en la regulación del calibre (al igual que en la regulación del rendimiento y del contenido proteico de los granos). Es interesante destacar que las precipitaciones no aparecen multiplicando la disponibilidad de N, indicando que los efectos de la fertilización con N sobre el calibre ocurren tanto en años húmedos como en años secos a diferencia de lo observado con el rendimiento.
- Las variaciones del calibre originadas por los tratamientos o por los ambientes estuvieron determinados por los cambios en la primera fracción. Los cambios de segunda fracción, por el contrario, se asociaron negativamente con cambios en el calibre. El calibre es un estimador confiable del peso unitario del grano, en particular de la primera fracción (> 2.5 mm).

Agradecimientos

A Fertilizar Asociación Civil por el apoyo económico recibido durante los dos primeros años de ensayos y a Maltería Pampa S.A., en particular al Ing. Agr. Daniel Desmery del Laboratorio de la Planta Tres Arroyos, por los análisis de calidad de las muestras de cebada.



Ensayo de Fertilización de Cebada. Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Bibliografía

- Briggs, D.E. 1998. Malts and malting. Blackie Academic & Professional. Londres.
- Daverede, I., F. Miguez, R. Frigerio, y J. Scanlan. 2013. Respuesta de la cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) a la fertilización y aplicación de fungicida. Actas IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca.
- Ferraris, G.N., F. Mousegne, M. Barraco, J. Cavo, L. Couretot, R. Falconi, E. Lemos, M. López de Sabando, G. Magnone, A. Martín, P. Melilli, O. Ferraris, A. Paganini, G. Pérez, R. Pontoni, J. Zanettini, C. Scianca, R. Solá, M.G. Tellería, y L. Ventimiglia. 2014. Rendimiento y respuesta comparada a fósforo y nitrógeno en trigo y cebada cervecera (2009, 2010, 2011, 2012 y 2013). Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca.
- Passarella, V. S., R. Savin, L.G. Abeledo, y G.A. Slafer. 2003. Malting quality as affected by barley breeding (1944-1998) in Argentina. *Euphytica* 134:161-167.
- Prystupa, P., R. Bergh, G. Ferraris, T. Loewy, L. Ventimiglia, F.H. Gutierrez Boem, y L. Couretot. 2008. Fertilización nitrogenada y azufrada en cebada cervecera cv. Scarlett. *Informaciones Agronómicas* 38:5-11.
- Prystupa, P., G. Ferraris, L. Ventimiglia, T. Loewy, L. Couretot, R. Bergh, y F.H. Gutiérrez Boem. 2016. Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires: I. Efectos sobre el rendimiento y el contenido proteico de los granos. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 21:7-14.
- Ross, F., J. Massigoge, 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.
- Ross, F., M.L. Seghezze, y L. Wehrhahne. 2013. Manejo de la calidad comercial del cultivo de cebada cervecera en suelos someros. Actas IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca.
- Salvagiotti, F., J.M. Castellarín, D.J. Miralles, y H.M. Pedrol. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research* 113:170-177.

Respuesta del cultivo de maíz a la aplicación anticipada de fósforo

María Guadalupe Tellería^{1*}, Flavio H. Gutierrez Boem² y Gustavo N. Ferraris³

Introducción

La necesidad de fertilizar con fósforo (P) los suelos agrícolas, en virtud de su baja disponibilidad de P, y la enorme difusión que ha tenido la siembra directa en nuestro país, han generado que los estudios referentes a la tecnología de aplicación de P se mantengan activos. Tradicionalmente, el P es colocado en la línea de siembra, aunque las cantidades de P que pueden agregarse son relativamente bajas por razones operativas y riesgos de fitotoxicidad.

Las respuestas a la fertilización en línea suelen ser superiores respecto de aplicaciones al voleo en suelos muy deficientes en P o con alta capacidad de fijación (Mallarino, 1997; Fariña Nuñez, 1997). Sin embargo, a medida que el nivel de P del suelo aumenta o cuando se emplean altas dosis, las diferencias entre voleo y línea disminuyen o son nulas (Mallarino, 1997; Darwich, 1998). Las aplicaciones al voleo usualmente se realizan a la siembra o en periodos de tiempo variables antes de la siembra. Respecto a las aplicaciones antes de la siembra, la mayor parte de las experiencias consisten en comparaciones de distintas dosis al voleo anticipadas con una única dosis en línea y, en la mayoría de los casos, no se hallaron diferencias (Bordoli y Mallarino, 1998; Barbagelata y Melchiori, 2008; Barbieri et al, 2006).

Las experiencias previas realizadas en la región pampeana argentina tienen algunas carencias en el sentido que: i) las comparaciones se realizaron entre aplicaciones al voleo anticipado y la línea de siembra, con lo cual de producirse diferencias no se pueden determinar si son atribuibles al momento de aplicación (siembra vs. anticipado) o a la ubicación del fertilizante (voleo vs. línea); ii) las comparaciones suelen realizarse con una única dosis común en ambos momentos y es sabido que las respuestas y eficiencias no son independientes de las

dosis, y iii) los periodos de anticipación son muy variables y en pocos casos son superiores a los 60 días.

Los objetivos del presente trabajo fueron: i) evaluar la respuesta del maíz (rendimiento fertilizado – rendimiento testigo) bajo diferentes estrategias de fertilización con P en la línea y al voleo, y ii) comparar la eficiencia agronómica en el uso del P [(rendimiento fertilizado – rendimiento testigo)/kg P aplicado] para distintas dosis y momentos de aplicación de P al voleo.

Materiales y métodos

Se realizaron tres experimentos de fertilización fosfatada a campo (uno por año) en cultivos de maíz, los cuales fueron iniciados en la campaña 2009/10 y finalizados en la 2011/12 a fin de abarcar una mayor variabilidad climática.

Los tres experimentos se realizaron en suelos Hapludoles Típicos: el primero serie Lincoln ubicado en el partido de General Viamonte (Buenos Aires) en la campaña 2009/10, y los dos restantes serie Junín en el partido de Junín (Buenos Aires) en las campañas 2010/11 y 2011/12 (**Tabla 1**).

Los experimentos contaron con diez tratamientos cada uno: ocho correspondieron a un factorial de dos momentos y cuatro dosis de aplicación de P al voleo, un tratamiento con una dosis de P aplicada en bandas incorporado en la línea de siembra (la ubicación y momento habitual que realizan los productores), y el restante a un testigo sin fertilizar con P (**Tabla 2**). El diseño de los experimentos fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. La fuente de P utilizada en todos los experimentos fue superfosfato triple de calcio (0-46-0).

En la campaña 2009/10, el híbrido de maíz utilizado fue Syngenta NK 900 sembrado el 14 de septiembre

Tabla 1. Características de los suelos de los sitios experimentales.

Serie de suelo	Lincoln	Junín	Junín
Clasificación taxonómica	Hapludol típico	Hapludol típico	Hapludol típico
Textura (0-20 cm)	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso
Arcilla (%)	12.0	15.2	15.2
Limo (%)	24.4	26.3	26.3
Arena (%)	63.6	58.5	58.5
pH (0-20 cm)	5.6	6.2	6
MO (0-20 cm) (%)	2.75	2.22	1.68
P Bray 1 (0-20 cm) (mg kg ⁻¹)	6.8	7.3	7.1

¹ AER INTA Junín

² Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA)

³ EEA INTA Pergamino

* Autor de contacto. Correo electrónico: telleria.maria@inta.gob.ar

Tabla 2. Descripción de los tratamientos de fertilización fosfatada en maíz. Campañas 2009-10, 2010-11, y 2011-12.

Tratamiento	Dosis, kg P ha ⁻¹	Ubicación	Momento de aplicación
0	0		
1	10	Voleo	90 días antes de la siembra
2	20	Voleo	90 días antes de la siembra
3	30	Voleo	90 días antes de la siembra
4	40	Voleo	90 días antes de la siembra
5	10	Voleo	Siembra
6	20	Voleo	Siembra
7	30	Voleo	Siembra
8	40	Voleo	Siembra
9	20	Línea	Siembra

con una distancia entre hileras de 52.5 cm; en 2010/11 el híbrido fue Dekalb DK 670 MGRR2 sembrado el 7 de octubre a 70 cm entre hileras; y en la campaña 2011/12 se utilizó el híbrido Dekalb 747 MGRR2 sembrado el 27 de septiembre a 70 cm entre hileras. Los cultivos fueron sembrados en siembra directa y, al momento de los experimentos, los sitios se hallaban bajo manejo de siembra directa estabilizado (cinco años o más). Los cultivos fueron conducidos bajo un planteo de alta tecnología, sin limitantes nutricionales de nitrógeno (N) ni azufre (S). Al momento de la siembra, los cultivos de maíz se fertilizaron con 150 kg ha⁻¹ de N (360 kg ha⁻¹ de urea) y 15 kg ha⁻¹ de S (83 kg ha⁻¹ de yeso agrícola), ambos aplicados en forma de cobertura total.

Las campañas fueron ambientalmente diferentes. La campaña 2009/10 fue muy favorable climáticamente para el desarrollo de los cultivos y los balances hídricos no presentaron déficit en ningún momento del año. La campaña 2010/11 presentó un déficit hídrico durante el periodo crítico, sin embargo la reconstitución de las precipitaciones a partir del mes de enero determinaron una compensación del rendimiento a través del peso de los granos y se lograron rendimientos muy aceptables. La campaña 2011/12 inició con reservas inferiores a lo normal, lo cual, sumado a la ausencia total de precipitaciones durante el mes de diciembre, causaron un severo déficit hídrico que afectó al cultivo; no obstante, las lluvias ocurridas a partir de mediados de enero permitieron una recuperación parcial del cultivo.

Con el cultivo en madurez fisiológica, se determinó el rendimiento de una superficie de 2 m². La cosecha de las espigas o mazorcas se realizó en forma manual y la trilla de las mismas se realizó con una máquina trilladora estacionaria. Sobre las muestras húmedas se midió el contenido de humedad con un equipo Delver y se hicieron las correcciones de peso correspondientes a humedad comercial (14.5 %).

Los datos recolectados se analizaron mediante ANVA y contrastes para determinar efectos del momento de

aplicación, dosis, su interacción y efecto de la ubicación del fertilizante. Para comparar momentos de aplicación se compararon modelos (regresiones lineales y no lineales) ajustados a la relación respuesta vs. dosis. Para eso se ajustaron dos modelos: uno con una línea para cada momento y otro con una línea común a ambos momentos. La comparación se realizó testeando si el aumento del error por ajustar una línea en vez de dos fue significativo mediante un test de *F*. Si el valor *p* fue mayor que 0.05 indicó que el momento de aplicación no afectó significativamente la relación respuesta vs. dosis, por lo que ésta se pudo representar con una sola línea común a ambos momentos. Se utilizó el programa Statistix para realizar el ANVA, los contrastes y las regresiones.

Resultados y discusión

La **Tabla 3** muestra el rendimiento en grano de maíz, corregido al 14.5% de humedad en los ensayos de 2009/10, 2010/11 y 2011/12. El agregado de dosis crecientes de P produjo aumentos significativos en el rendimiento en las tres campañas y no se detectó efecto del momento de aplicación ni interacción entre las dosis y el momento de aplicación (**Tabla 4**). Las dosis empleadas presentaron una tendencia de efecto lineal ($p < 0.10$) en la primer campaña y un efecto lineal significativo ($p < 0.05$) en las dos últimas.

La **Figura 1** muestra el incremento de rendimiento, en términos absolutos, en función de la dosis de P agregada. El aumento máximo de rendimiento fue de 2500 kg ha⁻¹ (20%) en la campaña 2009/10, de 1490 kg ha⁻¹ (13%) en 2010/11, y de 2650 kg ha⁻¹ (36%) en 2011/12.

No se observó efecto de la dosis de P sobre la eficiencia de uso del nutriente aplicado (EUP), probablemente debido a una elevada variabilidad de este indicador (**Tabla 5**). Por tanto, la relación entre la respuesta de rendimiento en grano y dosis, y cuya pendiente es la EUP, fue representada mediante regresiones lineales. En la **Tabla 6** se presenta la comparación de dos modelos, uno con una función ajustada para cada momento de aplicación y campaña,

Tabla 3. Rendimiento en grano (kg ha⁻¹, 14.5% Humedad). Campañas 2009/10, 2010/11 y 2011/12.

Campaña	Dosis (kg P ha ⁻¹)	Momento y ubicación del fertilizante		
		Voleo		Línea
		Anticipado	Siembra	Siembra
2009-10	0		12 490	
	10	13 938	13 672	-
	20	13 268	13 456	13 370
	30	14 111	13 985	-
	40	14 279	15 723	-
2010-11	0		11 272	
	10	11 429	11 392	-
	20	11 779	12 432	13 435
	30	12 873	12 649	-
	40	12 083	13 190	-
2011-12	0		7363	
	10	7722	7014	-
	20	8339	8769	9891
	30	10 011	10 013	-
	40	9291	10 298	-

Tabla 4. Análisis de la varianza (ANVA) de rendimiento en grano de maíz (kg ha⁻¹). Campañas 2009/10, 2010/11 y 2011/12.

Fuente de variación	2009/10	2010/11	2011/12
	Valor p		
Momento	0.53	0.18	0.71
Dosis			
Lineal	0.06	< 0.01	< 0.01
Cuadrático	0.16	0.14	0.17
<i>Lack of fit</i>	0.69	0.55	0.39
Dosis x Momento	0.47	0.50	0.57
Ubicación	0.93	0.08	0.27

Tabla 5. Valores de EUP para las dosis de 10, 20, 30 y 40 kg P ha⁻¹ aplicados a la siembra en los experimentos de las campañas 2009/10, 2010/11 y 2011/12.

Dosis	2009/10	2010/11	2011/12
	EUP, kg maíz kg P aplicado ⁻¹		
10	131	14	5
20	44	42	60
30	52	50	89
40	63	34	61
Valor p	0.22	0.15	0.2
CV	83%	59%	94%

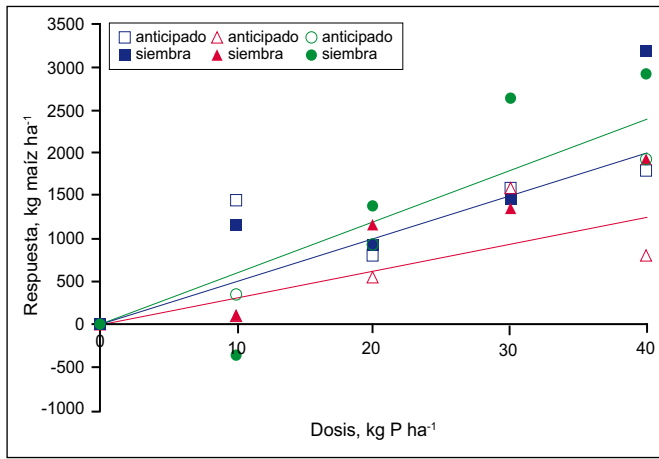


Figura 1. Respuesta de rendimiento en grano en función de la dosis de P al voleo. Campañas 2009/10 (cuadrados), 2010/11 (triángulos) y 2011/12 (círculos). Los símbolos vacíos representan las aplicaciones anticipadas y los símbolos llenos las aplicaciones a la siembra. La representación se realiza con una sola regresión por campaña ya que no difiere de la representación con dos regresiones (momento de aplicación).

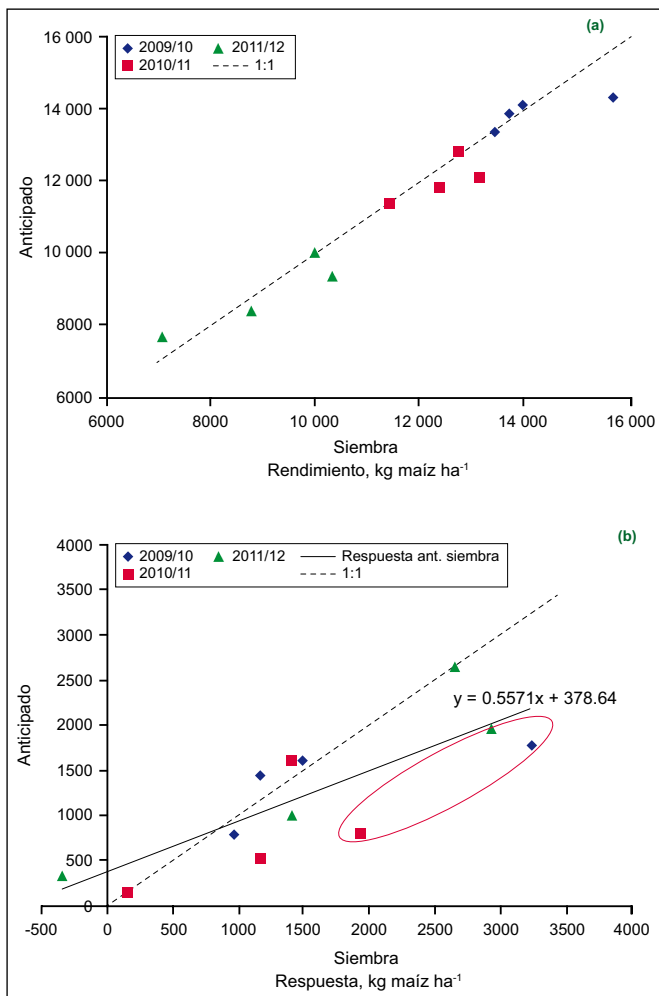


Figura 2. Relación entre el rendimiento (a) y la respuesta (b) de los tratamientos con aplicaciones al voleo anticipado vs a la siembra. Los puntos alineados en torno a la relación 1:1 indican ausencia de diferencia entre ambos momentos de aplicación. Campañas 2009/10, 2010/11 y 2011/12. Los puntos dentro de la elipse corresponden a la dosis de 40 kg P ha⁻¹.

y otro con una función por campaña (común a ambos momentos de aplicación). Los resultados arrojaron que no hubo diferencias entre ambos modelos ($p = 0.16$), con lo cual la representación entre respuesta de rendimiento en grano y dosis se realizó con una sola función por campaña (**Figura 1**).

Se realizaron comparaciones de los momentos de aplicación graficando los rendimientos de la aplicación anticipada vs aplicación a la siembra. En la **Figura 2a** se observa que los puntos estuvieron alineados sobre la recta 1:1, indicando que ambos momentos de aplicación presentaron un comportamiento similar, y a través de un test t se determinó que la pendiente de la recta de los momentos de aplicación no difirió de 1 ($p = 0.18$). Sin embargo, cuando se graficaron las respuestas (**Figura 2b**), la pendiente fue significativamente menor que 1 ($p < 0.01$), sugiriendo que las respuestas fueron mayores con las aplicaciones a la siembra, para los valores más altos de respuesta.

Los puntos que más se separan de la línea 1:1 son los correspondiente a la dosis más alta de P (40 kg P ha⁻¹), lo que sugiere que sólo con estas altas dosis se esperaría observar una diferencia en respuesta a favor de la aplicación a la siembra. Por otro lado, en el rango de dosis más comúnmente usado en este cultivo, no se observaron diferencias entre momentos de aplicación. Las diferencias promedio de rendimiento entre las aplicaciones anticipadas y a la siembra para las tres campañas fueron de tan sólo 289 kg ha⁻¹ a favor de las aplicaciones a la siembra. Por lo tanto, es de esperar que, en suelos Hapludoles de textura franco arenosa, la aplicación anticipada, en los lapsos mencionados, no generen retención del P de gran magnitud así como tampoco generen una mayor disponibilidad del P en solución. Similares resultados hallaron Mallarino et al. (2009) trabajando en una red de 20 ensayos con maíz y soja en Iowa (EE.UU.); donde tampoco detectaron diferencias en rendimiento ni en materia seca acumulada en estadios iniciales de los cultivos por efecto del momento de aplicación del fertilizante utilizando dosis muy similares a las de este estudio (0, 10, 20, 30, 40 y 50 kg P ha⁻¹).

Respecto a la ubicación del fertilizante, en ninguna de las tres campañas se observó un efecto significativo sobre el rendimiento (**Tablas 3 y 4**). Sin embargo, los rendimientos de los tratamientos con la ubicación del P en la línea de siembra tendieron a ser ligeramente superiores respecto a las aplicaciones al voleo, 7.5% ($p = 0.08$) y 11.3% para las campañas 2010/11 y 2011/12, respectivamente. Durante la campaña 2010/11 se registraron restricciones hídricas durante octubre, noviembre y diciembre, periodo en el cual las precipitaciones fueron casi del 60% inferiores respecto a las precipitaciones históricas de ese mismo trimestre. Por otro lado, en la campaña 2011/12, los meses de octubre y noviembre fueron normales pero diciembre se caracterizó por la ausencia total de precipitaciones. Estos resultados sugieren que en los dos años más secos hubo una tendencia a un

Tabla 6. Eficiencia de uso de P (EUP, b) expresada como la relación entre la respuesta de rendimiento en grano (kg ha⁻¹) y la dosis de P en los experimentos de las campañas 2009/10, 2010/11 y 2011/12. Comparación entre momentos de aplicación.

MODELO: $y = b x$	b (EUP)	p	R ²
MODELO 1: 6 funciones		< 0.01	0.81
Función anticipado 2009/10	50.07		
Función siembra 2009/10	68.43		
Función anticipado 2010/11	30.72		
Función siembra 2010/11	47.47		
Función anticipado 2011/12	59.89		
Función siembra 2011/12	73.84		
MODELO 2: 3 funciones		< 0.01	0.76
Función anticipado y siembra 2009/10	59.25		
Función anticipado y siembra 2010/11	39.10		
Función anticipado y siembra 2011/12	66.86		
Diferencia*			0.16

* Una diferencia no significativa ($p > 0.05$) implica que no es necesario usar dos funciones (una para cada momento de aplicación) para representar la relación entre Respuesta (y) y dosis de P (x).

mejor desempeño de la aplicación incorporada en la línea probablemente debido a una menor actividad radical cercana a la superficie del suelo. En tal sentido, se necesita investigar más al respecto para determinar si hay una relación causal entre el efecto de la ubicación del fertilizante fosforado y la humedad del suelo.

Conclusiones

Las aplicaciones anticipadas de P presentaron similares rendimientos que las aplicaciones a la siembra. Esto sugiere que en suelos con baja capacidad de fijación de P podrían esperarse similar eficiencia en estrategias que anticipen la aplicación de P en cobertura como en aquellas en que el fertilizante es colocado al momento de la siembra. Por otra parte, las respuestas tendieron a ser levemente superiores con las aplicaciones a la siembra, y con la dosis más alta de P, lo que indica que hubo cierto grado de retención del P aplicado anticipadamente, respecto al aplicado a la siembra. En función de la ausencia de diferencias en los rendimientos, las eficiencias en el uso del P (EUP) no variaron según el momento de aplicación.

Bibliografía

- Barbagelata, P.A., y R.J.M. Melchiori. 2008. Efecto de la forma de aplicación del fósforo sobre el rendimiento de trigo en Entre Ríos. VII Congreso Nacional de Trigo, Santa Rosa, La Pampa.
- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, y H.R. Saíenz-Rozas. 2006. Métodos de colocación de fósforo en el cultivo de maíz bajo siembra directa. Actas del XX congreso de la AACs. Salta, Argentina.

- Bordoli, J.M., y A.P. Mallarino. 1998. Deep and shallow banding phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agron.J.* 90: 27-33.
- Darwich, N. 1998. Fósforo: Un nutriente esencial para las plantas. En: Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes. p. 65-94. ISBN 950-43-9178-8. Mar del Plata, Argentina.
- Fariña Núñez, J.R. 1997. Soja, la importancia de la ubicación del fertilizante. *Revista Fertilizar* N° 8. p 4-7.
- Mallarino, A.P. 1997. Manejo de fósforo, potasio y starters para maíz y soja en siembra directa. 5° Congreso Nacional de AAPRESID. Mar del Plata. p. 11-19.
- Mallarino, A.P., S.R. Barcos, J.R. Prater, y D.J. Wittry. 2009. Timing of broadcast phosphorus fertilization for no-till corn and soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:2143-2150.

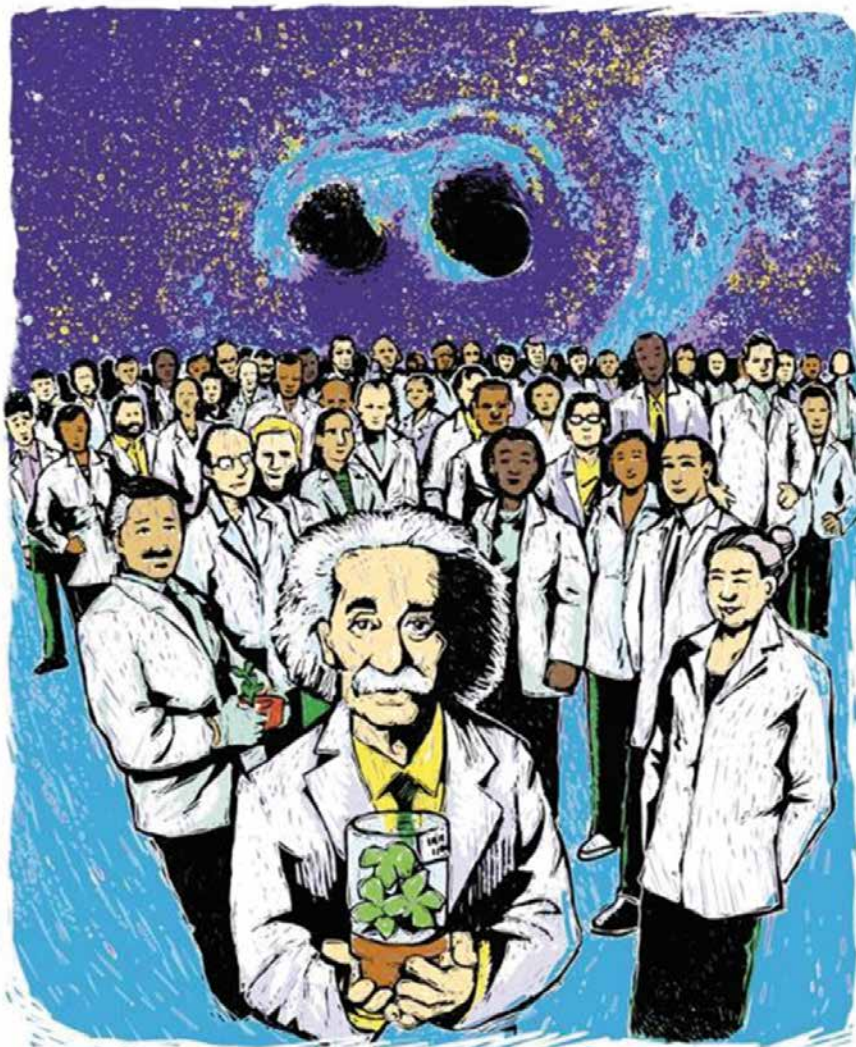


Cultivo de Maíz próximo a cosecha

Lecciones para la nutrición de plantas de las ondas gravitacionales*

Paul E. Fixen

En 1916, Albert Einstein predijo la existencia de lo que denominó como ondas gravitacionales basado en las ecuaciones de la teoría general de la relatividad. Estas ondas son distorsiones en el "espacio-tiempo" y generan grandes cambios en la masa en algún lugar del universo. De acuerdo con la relatividad general, este es el mismo fenómeno por el cual los objetos masivos deforman el espacio-tiempo que resulta en la gravedad. El 12 de febrero de 2016, se publicó un artículo científico que informaba la medida física de las ondas gravitacionales. Los modelos computacionales mostraron que las ondas detectadas fueron causadas por la fusión de dos agujeros negros a 1.3 mil millones de años luz de la Tierra. El 14 de septiembre de 2015, se midieron las ondas gravitacionales resultantes en las instalaciones de investigación recientemente actualizadas en el estado de Washington y Louisiana, proporcionando por primera vez evidencia física de que Einstein, hace 100 años, ¡estaba en lo cierto! Esto, sin duda, será visto como uno de los mayores avances científicos del siglo.



Ahora, las lecciones para la nutrición de plantas ...

Este avance absolutamente sorprendente a primera vista, parece como un acontecimiento singular. Sin embargo, en realidad era solo un paso (aunque muy dramático) en un proceso de un siglo de avances crecientes realizados por numerosos científicos, cada uno añadiendo algo a los descubrimientos de quienes pasaron antes que ellos. No es diferente en el campo de la nutrición de las plantas donde nuestro conocimiento de los productos, las prácticas y los sistemas forman parte de un mismo gran estudio. La contribución de cada estudio singular se define no sólo por los datos originales que contiene, sino también por los metadatos que conectan el nuevo estudio con los anteriores y con los que vendrán.

La segunda lección reside en la autoría del artículo científico por sí mismo. ¡El artículo ha listado 1000 autores, ocupando aproximadamente 3 páginas del trabajo! No solo realizaron un avance en el mundo de la física como resultado de avances sucesivos a lo largo de un siglo, sino también como resultado de 1000 investigadores que colaboraron y compartieron ideas y datos. El rol estratégico del IPNI es promover este tipo de colaboración a través de la financiación de proyectos como Global Maize y mediante la organización de conferencias regionales y talleres donde se construyen relaciones personales que abren puertas para esfuerzos colaborativos. Es la mejor manera de "crear ondas" de avance en la ciencia del manejo de nutrientes.

* IPNI – Vicepresidente y Director de Investigación. Traducido de Better Crops Vol. 100, No. 2, pag. 24.

Cursos y Simposios

- 1. 2^{do} Seminario Nacional sobre Actualización en Fertilidad del Suelo**

Organiza : SCCS
Lugar : Huila, Pitalito, Colombia
Fecha : Mayo 26-28, 2016
Información : <http://www.sccsuelo.org>
- 2. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**

Organiza : AACS-UNRC
Lugar : Río Cuarto, Córdoba, Argentina
Fecha : Junio 27-Julio 1, 2016
Información : <http://congresosuelo2016.org.ar>
- 3. XII Conferencia Internacional de Agricultura de Precisión**

Organiza : ISPA-IPNI-PrecisionAg
Lugar : Union Station, St. Louis, MO, EE.UU.
Fecha : Julio 31-Agosto 3, 2016
Información : <https://www.ispag.org/icpa>
- 4. Conferencia InfoAg 2016**

Organiza : IPNI-PrecisionAg
Lugar : Union Station, St. Louis, MO, EE.UU.
Fecha : Agosto, 2-4, 2016
Información : <http://www.infoag.org>
- 5. III Simposio Nacional de Sorgo – I Conferencia Internacional de Sorgo**

Organiza : AIANBA
Lugar : Pergamino, Buenos Aires, Argentina
Fecha : Agosto, 3-4, 2016
Información : <http://simposiodesorgo.com.ar>
- 6. Simposio Brasileño de Educación del Suelo**

Organiza : SBCS
Lugar : Sao Paulo, SP, Brasil
Fecha : Septiembre, 7-10, 2016
Información : <http://www.sbc.org.br>
<http://viiisbes.fflch.usp.br>
- 7. Congreso Internacional de Cítricos**

Organiza : IAC-IAPAR
Lugar : Foz de Iguazú, PR, Brasil
Fecha : Septiembre, 18-23, 2016
Información : <http://www.icc2016.com>
- 8. XVIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo**

Organiza : SCCS
Lugar : Boyacá, Villa de Leyva, Colombia
Fecha : Octubre, 5-8, 2016
Información : <http://www.sccsuelo.org>
- 9. Curso: El Sistema Internacional de Clasificación de Suelos**

Organiza : SECS
Lugar : Quito, Ecuador
Fecha : Octubre, 17-21, 2016
Información : <http://www.sccsuelo.org>
- 10. XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo**

Organiza : SECS
Lugar : Quito, Ecuador
Fecha : Octubre, 24-28, 2016
Información : info@secsuelo.org
<http://www.secsuelo.org>
- 11. 7^{ma} Conferencia de la Iniciativa Internacional de Nitrógeno**

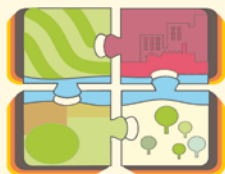
Organiza : Universidad de Melbourne
Lugar : Melbourne, Australia
Fecha : Diciembre, 4-8, 2016
Información : <http://www.ini2016.com>
- 12. Fronteras del Potasio**

Organiza : IPNI
Lugar : Roma, Italia
Fecha : Enero, 25-27, 2017
Información : <http://kfrontiers.org>



Publicaciones Disponibles IPNI-Norte de Latinoamérica

Título de la Publicación	Costo (U\$S)
<p>Manual de Arroz. Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes: Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales.</p> <p>Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes en Arroz: Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores.</p>	45.00
<p>Palma de Aceite. Manejo para Rendimientos Altos y Sostenidos: La palma de aceite es uno de los cultivos con mayor expectativa de crecimiento a nivel mundial, existe una gran demanda entre los palmicultores y agrónomos por conocimientos y publicaciones sobre su manejo adecuado.</p>	45.00
<p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido.</p> <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo.</p> <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.</p>	45.00
<p>4R de la Nutrición de Plantas. El concepto de los 4R, los 4 Requisitos, del "MANEJO RESPONSABLE DE NUTRIENTES" es un enfoque nuevo e innovador para las mejores prácticas de manejo de los fertilizantes adoptado por la industria mundial de fertilizantes. Este enfoque considera dimensiones económicas, sociales y ambientales del manejo de nutrientes y es esencial para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. El concepto es simple—aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar correctos—pero la implementación usa el conocimiento en forma intensiva y es específica para cada sitio.</p>	30.00
<p>Manual Internacional de Fertilidad de Suelos: Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo</p>	15.00
<p>Uso Eficiente de Nutrientes: Esta publicación resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes.</p>	15.00
<p>Nutrición y Fertilización del Mango: Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.</p>	15.00
<p>Nutrición de la Caña de Azúcar: Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña.</p>	10.00
<p>Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en http://nla.ipni.net</p>	



Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo

XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

27 de junio al 1 de julio de 2016



Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Agronomía y Veterinaria



**La Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACCS)
y la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto**

Invitan al:

XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo
Ordenamiento territorial: Un desafío para la Ciencia del Suelo

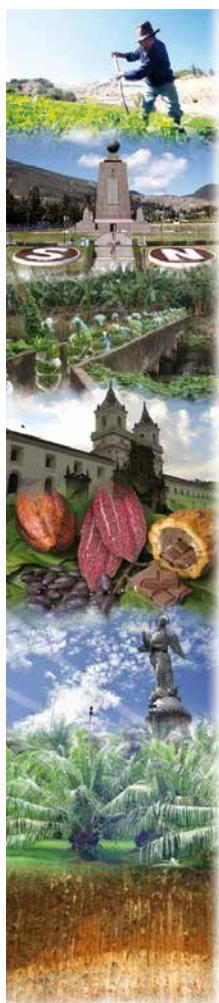
Río Cuarto (Córdoba, Argentina)

27 junio al 1 de julio de 2016

Para mayor información sobre programa e inscripciones,
por favor visite el sitio web:

<http://www.congresosuelo2016.org.ar>

¡Los esperamos!



XXI Congreso Latinoamericano
de la Ciencia del Suelo

XV Congreso Ecuatoriano
de la Ciencia del Suelo

"Todos los Suelos en la Mitad del Mundo"

El suelo, soporte de la diversidad de paisajes, vida y cultura

Quito - Ecuador

Hotel J.W. Marriott

24-28 de Octubre de 2016

info@secsuelo.org

agonzalez@secsuelo.org

www.secsuelo.org

Inscripciones al Congreso: www.secsuelo.org/app