



**Semiárido: un desafío para la Ciencia
del Suelo**

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA PARA TRIGO EN SIEMBRA DIRECTA EN ENTRE RÍOS

Barbagelata P. A.^{1,2}, R. J. M. Melchiori¹

(1) INTA EEA Paraná, Ruta 11 Km 12,5, (3101) Oro Verde, Entre Ríos. E-mail:

pbarbagelata@parana.inta.gov.ar

(2) Facultad de Cs. Agropecuarias UNER, Ruta 11 Km 11, (3101) Oro Verde, Entre Ríos.

RESUMEN: Los objetivos de este trabajo fueron evaluar y comparar dos métodos de extracción de P del suelo (Bray1 y M3) mediante la conducción de estudios de correlación para trigo en SD y establecer calibraciones de P basadas en muestras obtenidas a dos profundidades (0-5 y 0-20 cm). Se evaluó una red de 19 ensayos de fertilización fosfatada en trigo en SD en lotes comerciales de producción durante las campañas 2006 y 2007. Se evaluaron 5 tratamientos: 0, 12, 24 y 36 kg de P ha⁻¹ aplicados al voleo antes de la siembra y 24 kg de P ha⁻¹ aplicados al costado de la línea. Se utilizó un DBCA con cuatro repeticiones. Se extrajeron muestras de suelo en cada bloque a dos profundidades: 0-5 y 5-20 cm. Se determinó el contenido de P extraíble por Bray1, M3 y el pH. Se calculó el rendimiento relativo (RR = rendimiento del testigo/rendimiento "máximo") y se estudiaron las relaciones con el P disponible mediante distintos modelos. Las cantidades de P extraídas por los métodos Bray1 y M3 estuvieron altamente correlacionadas ($R^2=0.96$) y fueron similares, siendo ligeramente mayor M3. La capacidad de Bray1 y M3 para predecir la probabilidad de respuesta a la fertilización con P en trigo fue similar. Aunque el ajuste de la relación entre RR y P disponible fue ligeramente inferior para M3 comparado con Bray1 en 0-20 cm, los niveles críticos hallados por los modelos evaluados fueron iguales para ambos métodos, dentro de cada profundidad. La profundidad de muestreo 0-20 cm fue mejor para predecir la respuesta a P que 0-5 cm, a pesar de la estratificación de P encontrada, por lo que sería recomendable no modificar la profundidad tradicional de muestreo (0-20 cm) para el diagnóstico de fertilización con P en cultivos de trigo en SD.

Palabras Clave: Fósforo- Bray1 - Mehlich 3 - diagnóstico de fertilización - trigo en siembra directa.

INTRODUCCION

La producción agrícola se ha expandido e intensificado rápidamente en la región pampeana argentina en los últimos años y particularmente en la provincia de Entre Ríos. Esta expansión/intensificación agrícola se ha producido con una gran adopción de la siembra directa (SD). En general los suelos de la región presentan bajos niveles de fósforo disponibles para las plantas (García et al., 2006) debido a la baja reposición de nutrientes exportados con las cosechas de forrajes y granos y/o a características inherentes a los materiales originarios de los mismos.

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y uno de los tres macronutrientes principales, junto al N y el K. El uso de fertilizantes fosfatados ha demostrado efectos positivos en cultivos agrícolas de la región (García et al., 1997; Berardo et al., 1999; Barbagelata et al., 2000).

El análisis de suelos es la herramienta diagnóstica más importante para evaluar la disponibilidad de P para los cultivos, sin embargo, y a pesar de los cambios tecnológicos de los últimos tiempos, en muchas áreas de la región hay información de campo insuficiente y/o desactualizada referida a correlaciones y calibraciones de los métodos de diagnóstico de P.

El extractante más comúnmente utilizado en la región pampeana es Bray1 (Bray y Kurtz, 1945). Estudios de campo y laboratorio (Sen Tran et al., 1990; Mallarino y Blackmer, 1992; Mallarino, 1997) mostraron que este es un método confiable en suelos de reacción neutra o ácida pero subestima el P disponible para las plantas en algunos suelos con pH elevado y contenidos de CO₃Ca. La subestimación de P disponible por Bray1 se atribuye a la neutralización de la solución extractiva ácida por el CO₃Ca y/o la precipitación de F por el Ca disuelto (Fixen y Grove, 1990). La adopción del



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

método de extracción Mehlich-3 (Mehlich, 1984) por los laboratorios de suelos ha ganado popularidad en EEUU en detrimento de los métodos tradicionales, como Bray1, principalmente debido a que el primero permite una extracción simultánea y determinación de varios elementos en un mismo procedimiento.

Trabajos comparando Mehlich-3 (M3) y otros métodos (Beegle y Oravec, 1990; Sen Tran et al., 1990; Mallarino y Blackmer, 1992; Mallarino, 1997; Ferrari et al., 2005) mostraron que el P medido con M3 fue similar al P medido con Bray1 en suelos ácidos o neutros, sugiriendo interpretaciones similares para ambos métodos. Sin embargo M3 frecuentemente mide más P que Bray1 en suelos con alto pH y contenido de CO_3Ca (Sen Tran et al., 1990; Mallarino y Blackmer, 1992; Mallarino, 1997) lo cual ha sido atribuido a la mayor capacidad buffer de la solución extractiva M3 (Sen Tran et al., 1990; Mallarino y Blackmer, 1992). Calibraciones de campo para maíz (Mallarino y Blackmer, 1992; Mallarino, 1997) mostraron que M3 fue más efectivo que Bray1 para predecir respuestas al P a través de suelos con valores de pH que variaron entre 5.2 y 8.2. En Argentina, Zamuner et al. (2006) y Rubio et al. (2006) mostraron una estrecha relación en el P extraído por M3 y Bray1.

La profundidad de muestreo del suelo es otra variable importante para el diagnóstico de la fertilidad fosfatada. El sistema de siembra directa origina una estratificación del P en los primeros centímetros del suelo lo que podría conducir a una recomendación de menores profundidades de muestreo de suelos. Estudios conducidos en el país (Calviño et al., 2000) y en el exterior (Mallarino, 1997) muestran que no ha sido necesario un cambio en la profundidad de muestreo de suelos debido al cambio en el sistema de labranzas, aunque esto debería ser confirmado en otros ambientes de la región pampeana.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar y comparar dos métodos de extracción de P del suelo (Bray1 y Mehlich 3) mediante la conducción de estudios a campo de correlación para el cultivo de trigo en siembra directa y establecer calibraciones de P basadas en muestras obtenidas a dos profundidades (0-5 y 0-20 cm)

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó una red de 19 ensayos de fertilización fosfatada en trigo en siembra directa en lotes comerciales de producción durante las campañas 2006 y 2007, diez y nueve sitios respectivamente. Los lotes seleccionados tenían una historia de SD continua de al menos 5 años. La tabla 1 muestra información relacionada a los sitios evaluados. Los tratamientos evaluados en cada sitio fueron: un testigo (sin P), 12, 24 y 36 kg de P ha^{-1} aplicados al voleo en forma anticipada a la siembra y 24 kg de P ha^{-1} aplicados al costado y debajo o en la línea junto a las semillas, al momento de la siembra. La fuente de P utilizada fue superfosfato triple de calcio. Los tratamientos se dispusieron en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Al momento de la siembra se aplicaron al voleo dosis uniformes de N y S de manera que estos nutrientes no limiten el rendimiento de los cultivos. Se extrajeron muestras de suelo compuestas por 30 submuestras en cada bloque previo a la aplicación de los fertilizantes (profundidades: 0-5 y 5-20 cm.). Se determinó el contenido de P extraíble por Bray1, Mehlich-3 y el pH. En madurez del cultivo se determinó el rendimiento de granos del cultivo mediante cosecha manual sobre un área de 2 m^2 o mecánica sobre 20 m^2 . Se calculó el rendimiento relativo (RR = rendimiento del testigo/rendimiento "máximo"). El rendimiento "máximo" de cada experimento fue estimado a través del promedio de los rendimientos de los dos tratamientos con más alta productividad en cada repetición.

El fósforo disponible se midió en ambos métodos mediante extracción de muestras de suelo (previamente secadas al aire y pasadas a través de un tamiz de 2 mm) duplicadas de 2.5 g por 5 minutos en un agitador mecánico. La relación suelo-extractante utilizada fue 1:8 en los dos métodos.

Los resultados se evaluaron mediante análisis de la varianza, regresiones y correlaciones. Los niveles críticos de P disponible se calcularon mediante el método Cate-Nelson (CN) estadístico (Cate y Nelson, 1971), y con los modelos segmentados linear-plateau (LP) y cuadrático-plateau (CP) (Waugh et al., 1973). El nivel crítico definido por CN fue determinado con el procedimiento GLM de



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

SAS (SAS Institute, 2000) como el valor que divide los datos de rendimiento relativo en dos poblaciones que explican la mayor proporción de la variabilidad total (R^2). Los niveles críticos definidos por los modelos segmentados fueron determinados con el procedimiento NLIN de SAS y representan el valor de P al cual las dos porciones del modelo se unen.

Tabla 1. Ubicación, tipo de suelo y algunas prácticas de manejo de los sitios estudiados.

Sitio	Ubicación		Tipo de Suelo	Fecha de Siembra	Cultivar	Cultivo Antecesor
	Departamento	Distrito				
1	Paraná	Sauce	Argiudol ácuico	23/06/2006	Línea T 114 (INTA)	Soja
2	Paraná	Sauce	Argiudol ácuico	23/06/2006	PROINTA Gaucho	Maíz
3	Paraná	Sauce	Peluderte árgico	21/07/2006	PROINTA Gaucho	Maíz
4	Paraná	Sauce	Argiudol ácuico	04/07/2006	PROINTA Gaucho	Soja
5	Paraná	Tala	Peluderte árgico	23/06/2006	BAGUETTE P.13	Girasol
6	Paraná	Tala	Argiudol vértico	23/06/2006	BAGUETTE P.13	Soja
7	Diamante	Palmar	Argiudol ácuico	07/07/2006	KLEIN Tauro	Maíz
8	Nogoyá	Chiqueros	Peluderte argiudólico	21/07/2006	ACA 801	Soja
9	Gualeguaychú	Cuchilla Rda.	Peluderte árgico	22/06/2006	R. INIA Churrinche	Soja
10	Gualeguaychú	Cuchilla Rda.	Peluderte árgico	06/06/2006	R. INIA Tijetera	Soja
11	Paraná	Sauce	Argiudol ácuico	19/06/2007	BIOINTA 1003	Soja
12	Paraná	Sauce	Peluderte árgico	21/06/2007	Línea T 114 (INTA)	Maíz
13	Paraná	M. Grande 1 ^a	Peluderte argiudólico	25/06/2007	KLEIN Chajá	Maíz
14	Paraná	M. Grande 1 ^a	Peluderte argiudólico	20/06/2007	KLEIN Chajá	Soja
15	Paraná	Quebracho	Peluderte árgico	17/07/2007	R. INIA Condor	Girasol
16	Nogoyá	Chiqueros	Argiudol vértico	20/06/2007	KLEIN Chajá	Soja
17	Nogoyá	Chiqueros	Argiudol vértico	20/06/2007	KLEIN Chajá	Soja
18	Victoria	Rcón. del Doll	Peluderte árgico-crómico	04/07/2007	BAGUETTE P. 11	Soja
19	Diamante	Palmar	Argiudol rendólico	22/06/2007	KLEIN Chajá	Soja

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación entre el P extraído por Bray 1 y Mehlich 3

Las cantidades de P extraídas por los métodos Bray1 y M3 estuvieron altamente correlacionadas ($R^2 = 0.96$), mostrando una asociación lineal positiva entre ambas (Figura 1). Los valores de P obtenidos mediante M3 fueron ligeramente superiores a los alcanzados con Bray1. El promedio de P extraído a través de todos los sitios y profundidades de muestreo mediante el método Bray1 fue de $10,2 \text{ mg kg}^{-1}$ con un mínimo de 1,8 y un máximo de 48 mg kg^{-1} , en tanto con el método M3 se extrajeron $11,6 \text{ mg P kg}^{-1}$ en promedio, con un rango de 2,9 a 50 mg kg^{-1} . La relación entre ambos métodos hallada en este trabajo, así como las diferencias de P extraído entre ambos métodos son similares a las encontradas recientemente por otros autores en suelos de la región pampeana argentina (Zamuner et al., 2006; Rubio et al., 2006).

Como se observa en la figura 1, la relación entre ambos métodos empeora en algunos suelos con pH altos, disminuyendo el coeficiente de determinación desde 0.98 en suelos con $\text{pH} \leq 7.4$, a $R^2 = 0.81$ en aquellos con $\text{pH} > 7.4$. Sin embargo hay suelos con altos valores de pH en los cuales la relación entre el P extraído por Bray1 y M3 no se modifica. Esto indicaría que el pH solo no es un buen indicador de las fallas potenciales del método Bray1 en suelos con alto pH, seguramente debido a que no todos estos suelos presentan alto contenido CO_3Ca libre, como sugiere Mallarino (1997).

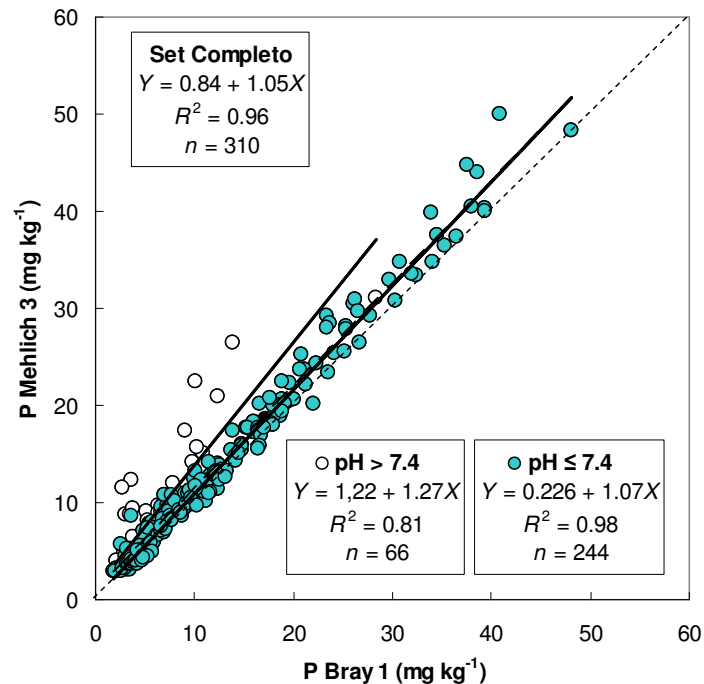


Figura 1. Relación entre las cantidades de P extraídas por Bray1 y Mehlich 3 en muestras de suelo tomadas a dos profundidades.

Correlación entre respuesta del cultivo de trigo y P disponible en el suelo

Las condiciones de crecimiento a través de sitios y años resultaron en rendimientos en grano de trigo promedio de los tratamientos testigo de 3320 kg ha^{-1} con un mínimo de 1570 y un máximo de 5420 kg ha^{-1} , en tanto el tratamiento con la máxima dosis de P promedió 3950 kg ha^{-1} con un rango de 1730 a 6070 kg ha^{-1} . El análisis de varianza del efecto de la fertilización con P en el rendimiento de trigo indicó una respuesta en rendimiento significativa ($P \leq 0.05$) en 13 de los 19 sitios-año evaluados (datos no mostrados). Las relaciones entre el rendimiento relativo de trigo y el P disponible según métodos de extracción y profundidades de muestreo son mostradas en la figura 2.

La tabla 2 muestra los niveles críticos de P en suelo calculados por los modelos CN, LP, y CP para Bray1 y M3 y las dos profundidades de muestreo. Los valores de R^2 fueron semejantes entre los modelos LP y CP y mayores a los de CN para la profundidad 0-20 cm. A su vez, estos valores de R^2 para LP y CP fueron mayores en la profundidad 0-20 cm comparados con 0-5 cm. Otros autores han obtenido un mejor ajuste usando muestras de suelo de 0-20 cm comparadas con muestras de 0-5 cm de profundidad en sistemas de SD (Calviño et al., 2000; Zamuner et al., 2006).

Los niveles críticos de P encontrados con los tres modelos fueron prácticamente iguales para Bray1 y M3 dentro de una misma profundidad, siendo mayores para la profundidad 0-5 cm, debido a la alta estratificación del P característica de los sistemas de SD. El rango de niveles críticos definido por los modelos LP y CP para 0-20 cm de profundidad fue 9 y $11 \text{ mg de P kg}^{-1}$, respectivamente. Estos niveles críticos de P son inferiores a los encontrados por Zamuner et al. (2006) para el sudeste bonaerense. Esto podría explicarse en parte por la diferencia con los tipos de suelo encontrados en Entre Ríos, con textura mas fina. Por otro lado, los valores de P disponible de los sitios en este estudio no presentaron valores altos y en consecuencia no se alcanzaron valores de rendimiento relativos promedios superiores al 93%. Es probable que explorando rangos de P en suelo mayores se defina mejor el *plateau* en rendimientos relativos mayores y aumenten los niveles críticos, aunque es muy poco frecuente encontrar valores altos de P disponible en lotes de producción en Entre Ríos.

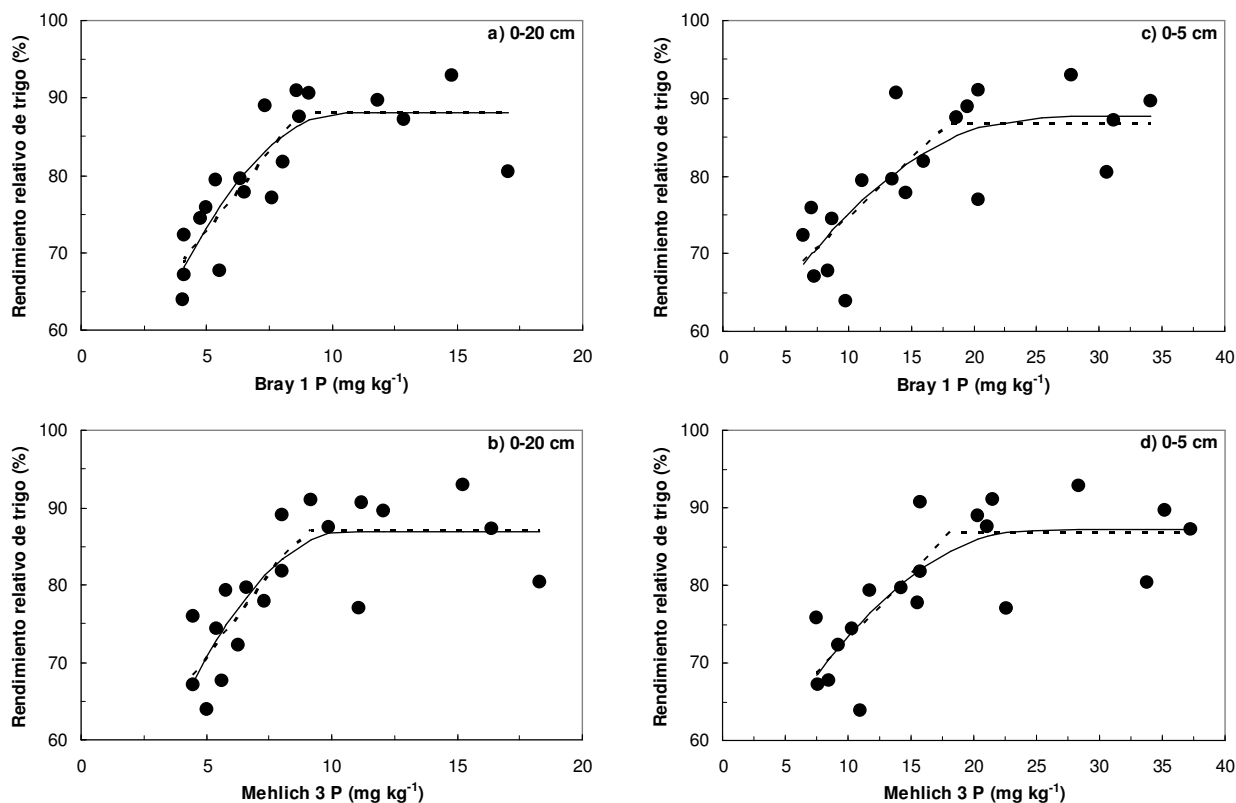


Figura 2. Relación entre el rendimiento relativo de trigo y el P del suelo extraído por Bray1 (a y c) y Mehlich 3 (b y d) sobre muestras tomadas de 0 a 20 cm (a y b) y de 0 a 5 cm (c y d) de profundidad.

Tabla 2. Niveles críticos de P en suelo para trigo, estimados mediante tres modelos y dos métodos de extracción de P sobre muestras tomadas a dos profundidades.

Método	Profundidad	Modelo†	Ecuación	R ²	Nivel Crítico
	cm				mg P kg ⁻¹
Bray1	0-20	CN	na‡	0,63	7
		LP	Y = 52,1 + 4,1X	0,76	9
		CP	Y = 34,4 + 10,2X - 0,480X ²	0,75	11
Mehlich 3	0-20	CN	na	0,63	8
		LP	Y = 49,0 + 4,3X	0,68	9
		CP	Y = 29,6 + 10,7X - 0,498X ²	0,66	11
Bray1	0-5	CN	na	0,64	10
		LP	Y = 59,3 + 1,5X	0,62	18
		CP	Y = 53,6 + 2,7X - 0,053X ²	0,61	25
Mehlich 3	0-5	CN	na	0,64	11
		LP	Y = 55,9 + 1,7X	0,65	18
		CP	Y = 48,3 + 3,15X - 0,064X ²	0,63	25

† CN, Cate-Nelson; LP, lineal-plateau; CP, cuadrático-plateau. Las ecuaciones de los modelos LP y CP son válidas para valores de X iguales o menores que el nivel crítico, el cual es el valor en que el plateau de cada modelo comienza. La significancia estadística de las relaciones fue siempre P ≤ 0.001.

‡ na, no aplicable



Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo

13 al 16 de mayo de 2008

Potrero de los Funes (SL), Argentina



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO

CONCLUSIONES

Las cantidades de P extraídas por los métodos Bray1 y M3 estuvieron altamente correlacionadas y fueron similares, siendo ligeramente mayor en M3.

Los resultados de este estudio mostraron que Bray1 y M3 tuvieron similar capacidad para predecir la probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada en trigo. Aunque el ajuste de la relación entre rendimiento relativo y P disponible fue ligeramente inferior para M3 en la profundidad 0-20 cm, los niveles críticos hallados para los distintos modelos fueron iguales, dentro de cada profundidad.

La profundidad de muestreo de 0-20 cm mostró un mayor poder predictivo de la respuesta a la fertilización con P que la más superficial (0-5 cm), a pesar de la marcada estratificación de P encontrada, por lo que sería recomendable no modificar la profundidad tradicional de muestreo de suelos (0-20 cm) para el diagnóstico de fertilización con P en cultivos de trigo en siembra directa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por el Proyecto Nacional PNCER2342 de INTA y por el Proyecto Regional Agrícola (E.RÍOS 02) del Centro Regional Entre Ríos de INTA.

BIBLIOGRAFIA

- Barbagelata, P.A.; R.J.M. Melchiori y O.F. Paparotti.** 2001. Fertilización fosfatada del cultivo de soja en suelos Vertisoles de la provincia de Entre Ríos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS* N° 11: 11-12.
- Beegle, D.B., y T.C. Oravec.** 1990. Comparison of field calibrations for Mehlich 3 P and K with Bray-Kurtz P1 and ammonium acetate K for corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21:1025-1036.
- Berardo, A., F.D. Grattone y G. Borrajo.** 1999. Fertilización fosfatada de trigo: respuesta y forma de aplicación. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS* N° 2.
- Bray, R.H., y L.T. Kurtz.** 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Calviño, P.A., H.E. Echeverría y M. Redolatti.** 2000. Estratificación de fósforo en el suelo y diagnostico de la fertilización fosfatada en trigo en siembra directa. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Cate, R.B., Jr., y L.A. Nelson.** 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35:658-660.
- Ferrari, M., R. Melchiori y H. Fontanetto.** 2005. Fósforo en soja. El aporte de la fracción orgánica lábil del suelo. p 33-40. En: *Fertilidad y fertilización en siembra directa. AAPRESID.*
- Fixen, P.E., y J.H. Grove.** 1990. Testing soils for phosphorus. p. 141-179. In R.L. Westerman (ed.) *Soil testing and plant analysis.* 3rd ed. SSSA Book Series No. 3. SSSA, Madison, WI.
- García, F.O.; K.P. Fabrizi, M. Rufo y P. Scarabicchi.** 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- García, F.O.; L.I. Picone y A. Berardo.** 2006. Fósforo. Pág. 99-121. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.) *Fertilidad de Suelos y Fertilización de cultivos.* Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Mallarino, A.P.** 1997. Interpretation of soil phosphorus tests for corn in soils with varying pH and calcium carbonate content. *J. Prod. Agric.* 10:163-167.
- Mallarino, A.P., y A.M. Blackmer.** 1992. Comparison of methods for determining critical concentrations of soil test phosphorus for corn. *Agron. J.* 84:850-856.
- Mehlich, A.** 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15:1409-1416.
- Rubio G., D. Barbero, M.J. Cabello y F.H. Gutiérrez Boem.** 2006. Comparación de resultados de fósforo disponible Bray I y Mehlich III en suelos de la región pampeana. [CD rom] *Actas del XX CAACS.* Salta, Argentina.
- SAS INSTITUTE.** 2000. SAS/STAT user's guide, Version 8. SAS Institute, Cary, NC.
- Sen Tran, T., M. Giroux, J. Guibeault, y P. Audesse.** 1990. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Quebec soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21:1-28.
- Waugh, D.L., R.B. Cate, y L.A. Nelson.** 1973. Discontinuous models for rapid correlation, interpretation, and utilization of soil analysis and fertilizer response data. *Tech. Bull.* 7. International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program. North Carolina State Univ., Raleigh, NC.
- Zamuner, E., L. Picote y H.E. Echeverría.** 2006. Comparison of phosphorus fertilization diagnostic methods for wheat under no-tillage. *Soil & Tillage Research* 89: 70-77.