

LAS RESPUESTAS DE MAÍZ Y SOJA A LA FERTILIZACIÓN CON FÓSFORO VARÍAN SEGÚN CONDICIÓN PRODUCTIVA SITIO-ESPECÍFICA

Gonzalo Pérez, Martín Díaz-Zorita

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Agencia de Extensión Rural Bolívar. Olascoaga 70, CP (6550)-Bolívar, Buenos Aires, Argentina. perez.gonzalo@inta.gob.ar

RESUMEN

Si bien se reconoce que la respuesta de los cultivos a la fertilización con fósforo (P) varía según niveles extractables de este nutriente y en interacción con otras propiedades de suelo, de cultivo y de manejo, la información para la delimitación de zonas de manejo uniforme para su eficiente uso es escasa. Los objetivos de este estudio fueron relacionar la respuesta a la fertilización con P, para cultivos de maíz y de soja, bajo condiciones contrastantes de productividad (zonas de manejo) y de decisiones de manejo (fechas de siembra), con diferentes propiedades de suelo, de paisaje y de productividad potencial. Se condujeron 6 estudios, en dos establecimientos del centro de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Se delimitaron zonas de manejo de alta (AP) y baja (BP) productividad. Se instalaron dos tratamientos de fertilización con fósforo: control sin aplicación de fósforo (P_0) y fertilizado (P_1). Se realizaron muestras compuestas individuales para cada repetición y se determinó el porcentaje de MO, la conductividad eléctrica (CE), y el contenido de arena. Se realizaron regresiones lineales para cada cultivo de rendimiento fertilizado y sin fertilizar en función del índice ambiental (IA). Se obtuvieron relaciones positivas entre MO, CE y negativas con arena para los cultivos de maíz y positivas con CE y pH para los cultivos de soja, con la respuesta a P. En el cultivo de maíz, con el aumento del índice ambiental aumenta de manera más que proporcional el rendimiento de los tratamientos fertilizados, con respecto a los sin fertilizar, a partir de un rendimiento de 5291 kg ha^{-1} , mientras que para soja, a partir de un rendimiento de 2770 kg ha^{-1} . Se puede plantear un modelo de recomendación de fertilización sitio específico a partir de los niveles críticos de P y de la productividad potencial de cada zona de manejo.

Palabras clave: Zonas de manejo, propiedades de suelo, fechas de siembra

INTRODUCCIÓN

El manejo de nutrientes sitio-específico es una tecnología que se sustenta en la capacidad de reconocer la heterogeneidad de productividad de los cultivos y de niveles de nutrientes dentro del lote de producción y adecua el uso de insumos para cada unidad de manejo reconocida (Khosla et al., 2002).

En la subregión pampa arenosa, los niveles medios de fósforo extractable, determinados por la metodología de Bray y Kurtz 1, sugieren condiciones de limitación para la normal producción de soja y maíz (Cruzate & Casas 2012). La mayor parte del fósforo (P) que absorben los cultivos se concentra en los granos y por lo tanto es exportado con las cosechas siendo la extracción continua sin reposición una de las formas directas de pérdida de fertilidad de los suelos (Cordell et al., 2009). Esto ocasiona que, a escala de lote existan diferencias marcadas de niveles de P ocasionados por diferencias en productividad de los cultivos, y por lo tanto en la extracción de nutrientes. La respuesta a la fertilización fosforada en la subregión pampa arenosa ha sido descrita por varios autores (Barraco et al, 2014, Prystupa et al 2004, Ferrari et al, 2000). La misma depende del nivel de Pe en suelo, pero también es afectada por factores físicos y químicos del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante (García, 1999).

Si bien se reconoce que la respuesta de los cultivos a la fertilización con fósforo varía según niveles extractables de este nutriente, la interacción con otras propiedades de suelo y de cultivo a nivel sitio específico puede contribuir a mejorar la recomendación sitio específica para la fertilización con este nutriente.

El objetivo de este estudio fueron relacionar la respuesta a la fertilización con fósforo (P), para cultivos de maíz y de soja, bajo condiciones contrastantes de productividad (zonas de manejo) y de decisiones de manejo (fechas de siembra), con diferentes propiedades de suelo, de paisaje y de productividad potencial.

MATERIALES Y MÉTODOS

En las campañas 2013/14 y 2014/15, se condujeron 6 estudios, 4 durante la campaña 2013-2014 y 2 durante la 2014-2015 en dos establecimientos del centro de la provincia de Buenos Aires (Argentina): “Don Domingo y Doña María Barnetche” (Bar) (36° 08' 46" S, 61° 04' 26" O) y “Los Tambos” (LT) (36° 07' 52" S, 61° 30' 12" O) bajo prácticas agrícolas en siembra directa representativas de sistemas agrícolas de la subregión pampa arenosa. El manejo de los cultivos de soja y maíz se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Descripción del manejo de cultivos de maíz y de soja en 6 sitios de producción representativos de subregión pampa arenosa. LT = “Los Tambos”; Bar = “Barnetche”.

Sitio	Lote	Cultivo	Fecha de siembra	Distancia entre surcos (m)	Densidad (semillas ha ⁻¹)	Genotipo	Antecesor
A	LT 13/14	Maíz temprano	05-oct	0,52	78.000	P2069YR	Soja
		Maíz tardío	23-nov	0,52	78.000	P2069YR	Soja
B	Bar 13/14	Maíz temprano	01-oct	0,70	78.000	P2069YR	Soja
		Maíz tardío	29-nov	0,70	78.000	P2069YR	Soja
C	LT 14/15	Maíz temprano	10-oct	0,52	78.000	P2069YR	Soja
		Maíz tardío	27-nov	0,52	78.000	P2069YR	Soja
D	LT 13/14	Soja temprana	15-nov	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
		Soja tardía	10-dic	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
E	Bar 13/14	Soja temprana	07-nov	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
		Soja tardía	04-dic	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
F	Bar 14/15	Soja temprana	10-nov	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
		Soja tardía	08-dic	0,42	290.000	DM 3810	Maíz

Los suelos fueron clasificados en Hapludoles énticos y Hapludoles típicos entre posiciones elevadas a deprimidas en el relieve. En cada sitio se delimitaron zonas de manejo de alta (AP) y baja (BP) productividad mediante fotointerpretación de imágenes satelitales de cobertura de cultivos en campañas anteriores a las del estudio y aplicando análisis de agrupamiento de índice verde normalizado (NDVI) de los datos de las imágenes satelitales.

En franjas de 10 m de ancho por 100 m de largo y con 3 repeticiones para cada fecha de siembra, se instalaron dos tratamientos de fertilización con fósforo: (i) control sin aplicación de fósforo (P₀) y (ii) fertilizado (P₁) con superfosfato triple (0-20-0) a razón de 100 kg ha⁻¹ aplicado en el momento de la siembra sobre la superficie (“al voleo”). La caracterización edáfica de los sitios experimentales se realizó a partir de muestras compuestas por 25 submuestras tomadas, antes de la siembra de cada cultivo, en la capa de 0 a 20 cm de profundidad, e individuales para cada repetición. En las muestras de los suelos se determinó el porcentaje de MO a partir de la determinación carbono orgánico total (COT) según la siguiente ecuación:

$$MO (\%) = COT (g \text{ kg}^{-1}) \times 1,724^{-1} \times 100 \dots \text{Ec. 1}$$

Fósforo extractable, el pH en agua por potenciometría 1,0:2,5, conductividad eléctrica del extracto de saturación en relación suelo: agua 1:2,5 por el método conductimétrico y el contenido de arena. Se calculó el Índice de Materia orgánica (IMO) en la capa de los primeros 0,2 m de suelo:

$$IMO = (MO) (Limo + Arcilla)^{-1} (100) \text{ ec} \dots \text{Ec. 2,}$$

donde IMO es el índice de materia orgánica, MO es el contenido de materia orgánica, Limo es el contenido de limo, y Arcilla es el contenido de arcilla, todas estas variables expresadas en porcentaje.

En estadios de madurez fisiológica de maíz y de soja se realizó la cosecha manual de los cultivos sobre una superficie de 3 m² y con 3 submuestras separadas de forma equidistante cada 30 m aproximadamente dentro de cada franja que luego fueron promediadas. Los rendimientos en grano de cada muestra fueron corregidos a contenidos uniformes de 14,5% de humedad. Se calculó la respuesta relativa a la fertilización con P:

$$\text{Respuesta Relativa (\%)} = (\text{Respuesta (kg ha}^{-1}\text{)}) ((P_0) (\text{kg ha}^{-1}))^{-1} (100) \text{ ec.} \dots \text{Ec. 3,}$$

siendo la respuesta la diferencia entre (P₁) y (P₀) para cada tratamiento.

Se calculó un índice ambiental (IA) para cada fecha de siembra, zona de manejo, cultivo y lote como el promedio de rendimiento de los tratamientos fertilizados con fósforo y sin fertilizar, y se lo relativizó a partir del máximo para cada cultivo. Se realizaron regresiones lineales para cada cultivo de rendimiento fertilizado y sin fertilizar en función del IA, y se compararon las pendientes con la recta 1:1 mediante pruebas de t. Para los análisis estadísticos se utilizó el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos, se obtuvieron relaciones entre las propiedades de suelo y de productividad con la respuesta al agregado de P. Para los cultivos de maíz, la respuesta al agregado de P en función de los contenidos de MO, presentaron una relación de tipo logarítmica positiva ($R^2 = 0,29$). A partir de valores por encima de 2,52 %, las respuestas comienzan a ser positivas. Para los cultivos de soja, no se encontró una relación estadísticamente significativa. La respuesta al agregado de P en función de la CE, presentó una relación lineal para ambos cultivos: en maíz ($R^2 = 0,24$, $p < 0,002$) mostrando respuestas positivas a partir del valor de CE de 0,203 dS m⁻¹, mientras que en soja ($R^2 = 0,14$, $p < 0,023$) mostrando respuestas positivas a partir del valor de CE de 0,163 dS m⁻¹. Para ambos cultivos evaluados, los mayores valores de CE y MO coinciden con las zonas de manejo de AP. Las mismas están asociadas a partículas de suelo más finas, y a posiciones bajas del relieve, mejorando la capacidad de retención de agua de los suelos. Esto incrementa el contenido de MO, como consecuencia del mayor aporte de residuos que reciben (Parton *et al.*, 1993). A su vez, los contenidos de MO, se asocian a partículas de suelo más finas, debido al efecto protector de las mismas (Quiroga *et al.*, 1996).

Para el cultivo de maíz, la respuesta al agregado de P en función de los contenidos de arena, mostro un ajuste lineal negativo ($R^2 = 0,14$, $p < 0,001$), disminuyendo la respuesta, a medida que aumentan los contenidos de arena, siendo positiva hasta el 58 %. Las respuestas a su vez se obtuvieron en las zonas de manejo de alta productividad. No se observó correlación entre la respuesta al agregado de P y el porcentaje de arena para soja. Las zonas de manejo de AP, presentaron un menor contenido de arena. Esto hace que tengan la capacidad para almacenar mayor cantidad de agua útil, pudiendo estar disponible para el cultivo en diferentes momentos, mientras que las zonas de manejo de BP, la capacidad de almacenar el agua es baja, dependiendo la necesidad hídrica de las lluvias en los momentos críticos del cultivo. Esto pudo afectar al más al cultivo de maíz que al de soja, debido a que el crecimiento del maíz depende directamente de las precipitaciones en el período próximo a la floración (Andrade *et al.*, 1996). La respuesta al agregado de P en función del IMO no mostró correlación con ninguno de los cultivos.

Se observó una relación lineal positiva entre la respuesta al agregado de P y el pH en el cultivo de soja ($R^2 = 0,11$, $p < 0,001$), mostrando esta valores de respuesta positivos a partir de 5,37. No se observó relación entre la respuesta al agregado de P y el pH en el cultivo de maíz. La relación entre el pH y la productividad del cultivo de soja, ha sido descripta por otros autores. La acidificación no sólo acarrea deficiencias de nutrientes básicos, sino que también produce perjuicios como la reducción de la disponibilidad de P y MO, la actividad de microorganismos responsables de la nitrificación y fijación simbiótica de N, y hasta toxicidad de Al, en situaciones donde el pH es menor a 5,5 (Vázquez *et al.*, 2010). En un estudio realizado en suelos de la provincia de Buenos Aires y Santa Fe, el agregado de enmiendas básicas en suelos de moderada a fuerte acidez actual ubicados en, aplicadas entre 15 días y 1 año previo a los cultivos, produjo incrementos de rendimiento de soja que oscilaron entre 209 y 1264 kg ha⁻¹ (Vázquez *et al.* 2012).

La respuesta al agregado de P en función del IA, mostro una correlación positiva para ambos cultivos, ajustándose a una función lineal. En el cultivo de maíz ($R^2 = 0,37$, $p < 0,0001$), la respuesta se vuelve positiva con un valor de 55,5 % de IA, mientras que para soja la respuesta se vuelve positiva con un valor de 40,6 % de IA. (Figura 1).

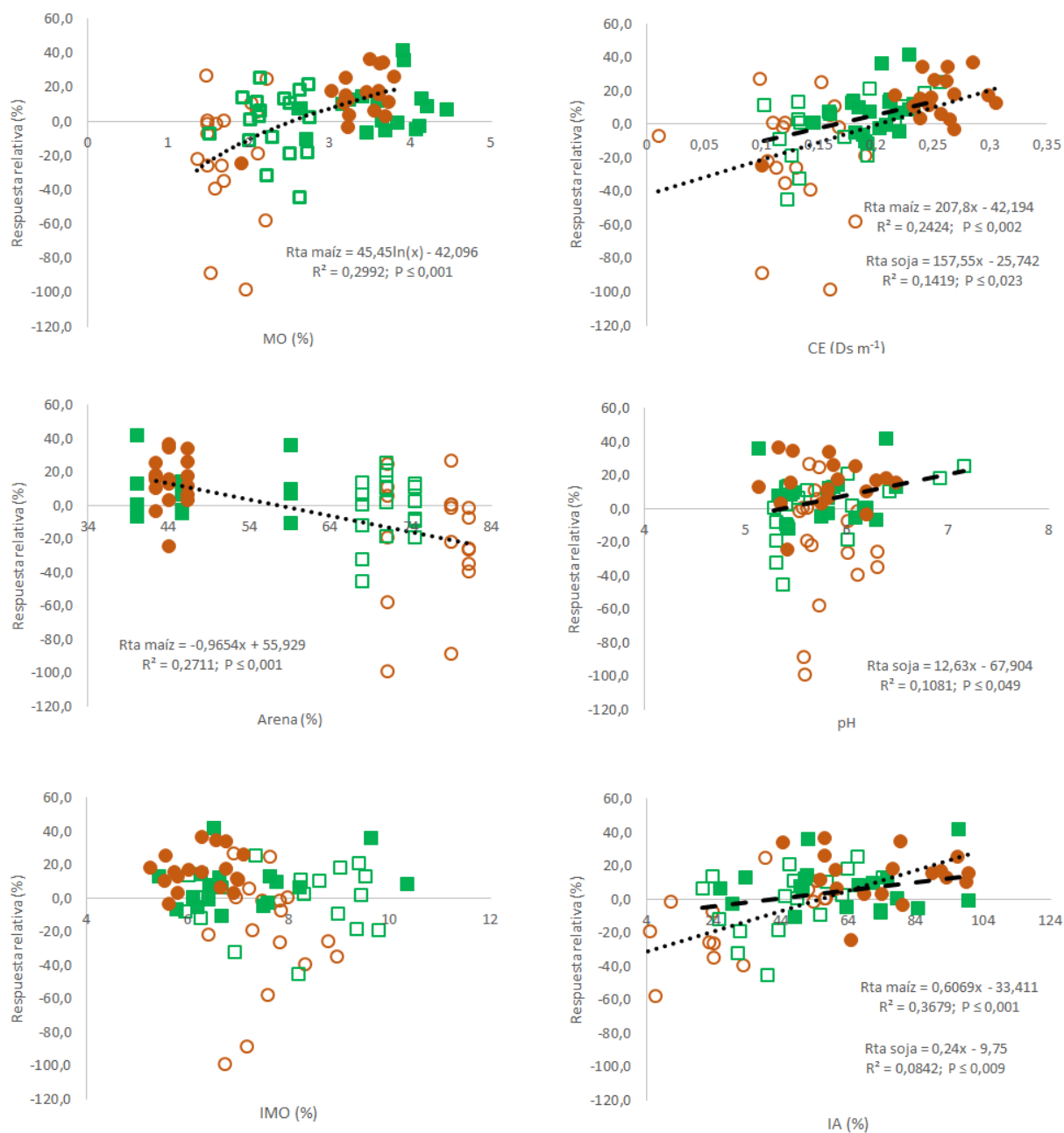


Figura 1: Relación entre la respuesta relativa al fertilizar con fósforo en lotes de maíz y de soja en 62 sitios de la subregión pampa arenosa según materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), arena, pH, índice de materia orgánica (IMO), e índice ambiental (IA) . Círculos llenos= maíz alta productividad, círculos vacíos= maíz baja productividad, cuadrados llenos = soja alta productividad, cuadrados vacíos = soja baja productividad.

En el cultivo de maíz, con el aumento del índice ambiental aumenta de manera más que proporcional el rendimiento de los tratamientos fertilizados, con respecto a los sin fertilizar ($p < 0,0001$), a partir de un rendimiento de 5291 kg ha⁻¹. Esto indica que la respuesta a la fertilización con fósforo en el cultivo de maíz aumenta a medida que el potencial del sitio es mayor (Figura 3 A). Al igual que para maíz, para el cultivo de soja, el aumento de rendimiento de los tratamientos fertilizados, aumenta en mayor medida que los tratamientos sin fertilizar a mayor IA ($p < 0,05$), a partir de un rendimiento de 2770 kg ha⁻¹ (Figura 3 B).

Si bien en este estudio, existe una relación negativa entre el IA y el contenido de Pe en suelo, existen varios sitios donde el índice ambiental es alto y los contenidos de Pe en suelo también lo son; y puntos donde el índice ambiental y el contenido de Pe en suelo es bajo. Resultado similares fueron reportados por Ross y Elgart (2014), en el sudoeste de Buenos

Aires, para experimentos realizados en el cultivo de trigo, encontraron mayores respuestas al agregado de P, cuando el índice de productividad del cultivo aumentaba, en este caso limitado a partir de la profundidad de la tosca, y los contenidos de MO. Sin embargo, Gutiérrez-Boem & Thomas, (1999), en Princeton, Kentucky, EUA, en experimentos a campo encontraron que la mayoría de los efectos entre el agregado de fósforo y el estrés hídrico en el crecimiento del cultivo de soja fueron aditivos, por lo que, en general, los efectos del estrés hídrico fueron similares en cada nivel de P. Gutiérrez-Boem & Thomas, (2001), en experimentos en macetas encontraron que las reducciones relativas debidas al estrés hídrico fueron similares en cada nivel de P para el área foliar individual, el área foliar de la planta completa, la biomasa aérea, la conductancia estomática y la transpiración. En estos experimentos se mantuvo un nivel constante de estrés hídrico durante el desarrollo del cultivo, generando menor crecimiento en los tratamientos sin riego, mientras que en los experimentos realizados en este trabajo, los mayores estreses ocurren alrededor del período crítico, ya que en etapas anteriores a este, los tratamientos con fertilización fosforada mostraron mayor crecimiento, siendo luego perjudicial para el rendimiento del cultivo.

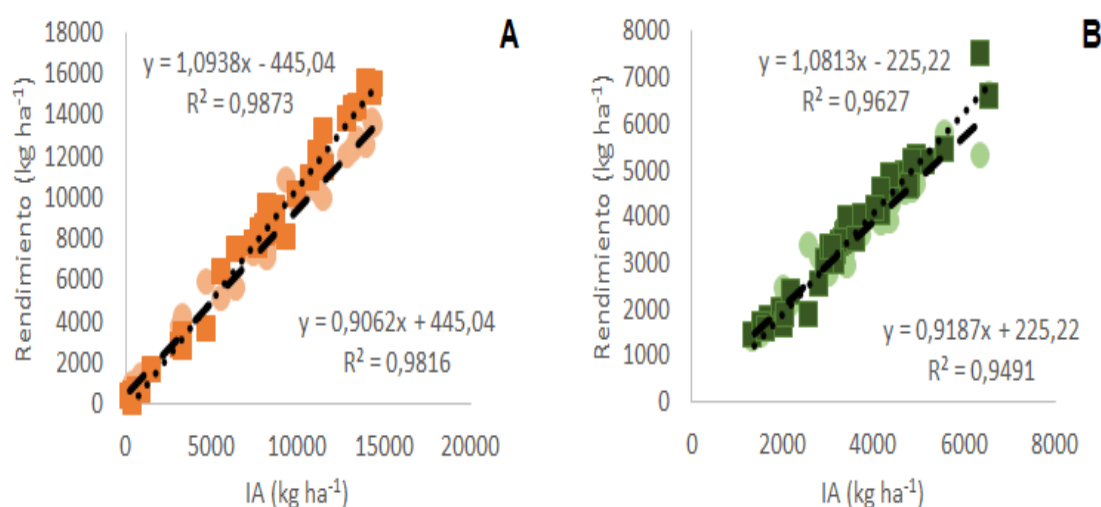


Figura 3: Rendimientos de tratamientos de fertilización con fósforo (círculos oscuros) y sin fertilizar (círculos claros) según la productividad o índice ambiental para los cultivos de maíz (A) y soja (B).

CONCLUSIONES

Para los cultivos de maíz, la respuesta al agregado de P, bajo condiciones contrastantes de manejo se relacionó con los contenidos de MO y Arena y con los valores de CE. Mientras que para soja, se encontraron relaciones con los valores de CE y pH. La respuesta a la fertilización con fosforo en los cultivos de maíz aumenta a medida que el potencial del sitio es mayor a partir de un rendimiento de 5,291 kg ha⁻¹. Para el cultivo de soja, el aumento de rendimiento de los tratamientos fertilizados, aumenta en mayor medida que los tratamientos sin fertilizar a mayor IA ($p < 0,05$), a partir de un rendimiento de 2770 kg ha⁻¹. A partir de estos resultados se puede plantear un modelo de recomendación de fertilización sitio específico a partir de los niveles críticos de P y de la productividad potencial de cada zona de manejo del lote.

AGRADECIMIENTOS

Al establecimiento “Los Tambos”, por ceder sus instalaciones para la instalación de los experimentos.
 A ASP Bolívar, por la provisión de fertilizante para los experimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade F.; Cirilo A.G.; Uhart S.; Otegui M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds.). Dekalb Press. Buenos Aires. P 292.
- Barraco, M. R., Díaz-Zorita, M., Miranda, W. R., & Alvarez, C. 2014. Contribución de la fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre a la productividad de maíz en la Pampa Arenosa. Memoria técnica. EEA General Villegas. 2014-2015.
- Cordell, D; JO Drangert & S White. 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. Glob. Environ. Chang. 19: 292-305. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
- Cruzate, G. A., & Casas, R. (2012). Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 6, 7-14.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Ferrari, M., Ostojic, J., Ventimiglia, L., Carta, H., Ferraris, G., Rillo, S., & Rimatori, F. 2000. Fertilización de maíz: Buscando una mayor eficiencia en el manejo de nitrógeno y fósforo. Actas Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad".
- García, F. O. 1999. Fósforo y azufre en el cultivo de maíz. *Informaciones agronómicas N°3-INPOFOS-PPI-PPIC*.
- Gutiérrez-Boem, F. H., & Thomas, G. W. 1999. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans. *Plant and Soil*, 207(1), 87-96.
- Gutiérrez Boem, F.H., y G.W. Thomas. 2001. Leaf area development in soybean as affected by phosphorus nutrition and water deficit. *Journal of Plant Nutrition* 24: 1711-1729.
- Khosla R., A. Hornung, R. Reich, D. Inman, y D.G. Westfall. 2006. Comparison of site specific management zone: soil-color-based and yield-based. *Agronomy Journal* 98: 407-415.
- Parton, WJ; MO Scurlock; TG Ojima & TG Gilmanov. 1993. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide *Global Biochem. Cycles* 7: 785-809.
- Prystupa, P., F. Salvagiotti, G. Ferraris, F. H. Gutiérrez-Boem, J. Elisei, y L. Couretot. 2004. Efecto de la fertilización con fósforo, azufre y potasio en cultivos de maíz en la pampa ondulada. *INPOFOS Informaciones Agronómicas*, (23), 1-4.
- Quiroga, A. R., Buschiazzi, D. E., & Peinemann, N. (1996). Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid Argentinian pampas. *Soil Science*, 161(2), 104-108.
- Ross, F., & Elgart, L. 2014. Fertilización con fósforo por ambiente en trigo. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 22-25.
- Vázquez, M., Terminiello, A., Casciani, A., Millán, G., Cánova, D., Gelatti, P., & García, M. 2012. Respuesta de la soja (Glicine max. Merr) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. *Ciencia del suelo*, 30(1), 43-55.
- Vázquez, M. 2010. Calcio y magnesio del suelo. Dinámica en el suelo. Diagnóstico y fertilización. En: Fertilidad del suelo. Diagnóstico y manejo en la Región Pampeana. Ed. Rubio G., Álvarez R., C. Álvarez y R. Lavado. FAUBA. Buenos Aires. Cap. 4: 371-394. 423 p.