

FERTILIZACIÓN VARIABLE CON FÓSFORO EN HAPLUDOLES DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Gonzalo Perez¹, Martín Díaz-Zorita²

¹Agencia de extensión rural Bolívar, INTA. perez.gonzalo@inta.gob.ar

²Monsanto BioAg.

INTRODUCCIÓN

En el Centro de la región Pampeana, 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. 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). El balance de P de los suelos pampeanos, determinado como la diferencia entre la cantidad de P exportado en granos y el P aplicado con los fertilizantes, sigue siendo ampliamente negativo (entre 5 y 10 kg ha año⁻¹) (Cruzate & Casas 2012). Este empobrecimiento puede atribuirse a su mayor extracción por los cultivos que se utilizan frecuentemente (soja y maíz), con rendimientos progresivamente más elevados (Berardo, 2003). 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). 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).

Se ha determinado que la respuesta aumenta cuando los niveles extractables de P de la capa superficial de los suelos disminuye (Schneider *et al* 1997), estableciéndose como umbral de respuesta para la subregión de la pampa arenosa valores inferiores a 16 ppm (Ferraris et al., 2002). Si bien se reconoce que la respuesta de los cultivos a la fertilización con fósforo varía según niveles extractables de este nutriente y en interacción con otras propiedades de suelo, de cultivo y de manejo de la práctica la información para la delimitación de zonas de manejo uniforme para su eficiente uso es escasa.

El objetivo fue determinar las respuestas de producción del cultivo de soja a la fertilización con P según condiciones contrastantes de producción asociadas a fechas de siembra y condiciones de sitio delimitadas por fotointerpretación de índices verdes de cultivos antecesores.

MATERIALES Y MÉTODOS

En las campañas 2013/14 y 2014/15, se condujeron 3 estudios, 2 durante la campaña 2013-2014 y 1 durante la 2014-2015 en dos establecimientos del centro de la provincia de Buenos Aires (Argentina): "Don Domingo y Doña María Barnetche" (36° 08' 46" S, 61° 04' 26" O) y "Los Tambos" (36° 07' 52" S, 61° 30' 12" O) bajo prácticas agrícolas en siembra directa representativas de sistemas agrícolas de la subregión pampa arenosa (Figura 1).

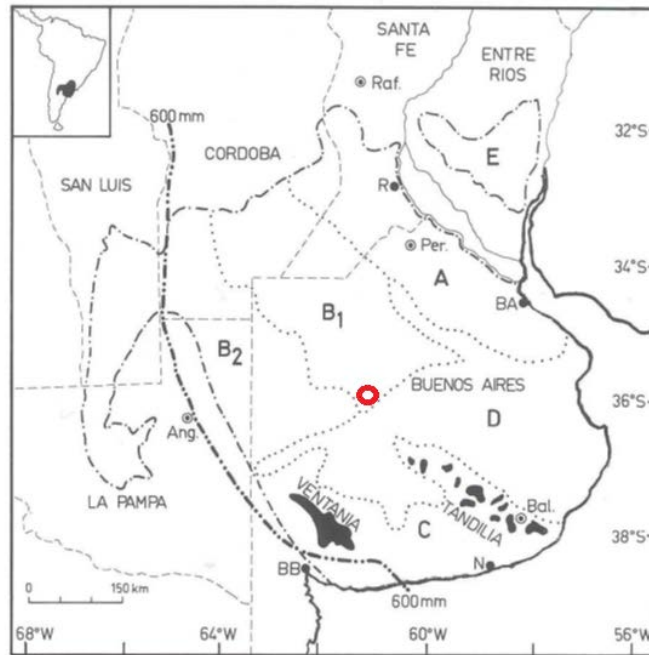


Figura 1. Subregiones en la región pampeana A: Pampa ondulada; B: Pampa interior o arenosa (B₁. Plana, B₂. Occidental); C, Pampa austral; D. Pampa inundable o deprimida; E. Pampa mesopotámica. El círculo rojo indica la ubicación de la localidad de Bolívar, las líneas discontinuas indican los límites geográficos entre provincias, BA: Ciudad de Buenos Aires, R: Rosario, BB: Bahía Blanca, Raf.: Rafaela, Per.: Pergamino, Ang.: Anguil, Bal.: Balcarce, N: Necochea. Adaptado de Hall et al., 1992.

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. El manejo del cultivo de soja se detalla en la Tabla 1. En franjas de 10 m de ancho por 100 m de largo y con 3 repeticiones 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”).

Tabla 1. Descripción del manejo del cultivo de soja en 3 sitios de producción representativos de la subregión pampa arenosa. LT = “Los Tambos”; Bar = “Barnetche”.

Lote	Cultivo	Fecha de siembra	Distancia entre surcos (m)	Densidad (semillas ha ⁻¹)	Genotipo	Antecesor
LT 13/14	Soja temprana	15-nov	0,42			
	Soja tardía	10-dic	0,42			
Bar 13/14	Soja temprana	07-nov	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
	Soja tardía	04-dic	0,42			
Bar 14/15	Soja temprana	10-nov	0,42			
	Soja tardía	08-dic	0,42			

La caracterización edáfica de los sitios experimentales se realizó a partir de 25 muestras individuales, cada una compuesta por 15 submuestras tomadas, antes de la siembra de cada cultivo, en la capa de 0 a 20 cm de profundidad. En las muestras de los suelos se determinó el porcentaje de materia orgánica (MO) a partir de la determinación del carbono fácilmente oxidable (Walkley & Black, 1934), fósforo extractable, según el método de Bray y Kurtz 1 (1945), el pH en agua por potenciometría 1,0:2,5 (Jackson, 1982), la conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación en relación suelo: agua 1:2,5 por el método conductimétrico (Delavalle, 1992), y el contenido de arena por el método de Bouyoucus (1962).

Durante el desarrollo de los cultivos se midió la intercepción de radiación (IR) a partir del PAR (radiación fotosintéticamente activa) medido por encima del canopeo e inmediatamente por debajo del estrato inferior del cultivo, con cuatro mediciones por parcela y por zona de productividad aparente contrastante. A su vez se registró el desarrollo del cultivo según la escala de Fehr y Caviness (1971). En estadios de madurez fisiológica 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.

Las propiedades de suelo y el rendimiento del cultivo se analizaron mediante análisis de la varianza (ANVA). Se calculó un índice ambiental para cada fecha de siembra, zona de manejo, y lote como el promedio de los tratamientos fertilizados con fósforo y sin fertilizar. Se realizaron regresiones lineales de rendimiento fertilizado y sin fertilizar en función del índice ambiental, 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).

Durante la campaña 2013-2014 las precipitaciones durante el período entre septiembre y marzo fueron de 478 mm, 169 mm inferiores que el promedio histórico (1901-2016) para la zona. Se destacan lluvias en el mes de febrero de 139 mm. Durante la campaña 2014-2015 las precipitaciones durante entre septiembre y marzo fueron de 490 mm, 156 mm inferiores que la media histórica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En todos los lotes evaluados, las zonas de manejo de alta productividad se ubicaron en posiciones deprimidas en el paisaje y presentaron en promedio valores mayores de MO (media de 3,3 %) y de CE (media de 0,22 dS m⁻¹), que las zonas de baja productividad. En cambio, los valores de Pe y de arena fueron superiores en áreas de baja productividad aparente (20,3 mg kg⁻¹ y 71 %) en comparación con las zonas de baja productividad (10,3 mg kg⁻¹ y 48,4 %). Los valores de pH fueron similares entre zonas de manejo (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de los análisis de los suelos (0 a 20 cm) en 3 lotes de producción de soja en la subregión pampa arenosa según zonas de manejo delimitadas por productividad aparente. AP = alta productividad; BP = baja productividad; MO = materia orgánica; Pe = fósforo extractable; CE = Conductividad eléctrica; DE = desvío estándar Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0,05) entre zonas de manejo para cada variable dentro de cada sitio.

Lote	Zona de manejo	MO (%)	Pe (mg kg ⁻¹)	pH	CE (dS m ⁻¹)	Arena (%)
LT 13/14	AP	3,9 a	13,1 a	5,6 a	0,22 a	45,7 b
	BP	2,2 b	13,2 a	5,4 b	0,13 b	67,9 a
Bar 13/14	AP	3,3 a	9,6 a	5,4 b	0,20 a	59,2 b
	BP	2,5 b	12,1 a	6,5 a	0,22 a	70,8 a
Bar 14/15	AP	2,8 a	8,2 b	5,5 a	0,19 a	40,2 b
	BP	1,6 b	35,5 a	5,4 b	0,15 b	74,4 a
Media	AP	3,3	10,3	5,5	0,2	48,4
	BP	2,1	20,3	5,8	0,2	71,0

La producción de granos de soja varió entre 1.505 y 6.232 kg ha⁻¹ mostrando diferencias entre lotes, ZM y tratamientos de manejo del cultivo (fechas de siembra) (Tabla 3).

Tabla 3: Rendimientos de soja en 3 lotes de la subregión pampa arenosa según zonas de manejo de alta (AP) y de baja productividad (BP), cultivados en 2 fechas de siembra (Temprana y Tardía), con (P₁) y sin (P₀) fertilización con fosforo. Letras mayúsculas indican diferencias entre zonas de manejo y letras minúsculas indican diferencias entre fechas de siembra para cada lote.

Zona de manejo	Fecha de siembra	Fertilización	Rendimiento (kg ha ⁻¹)					
			LT 13/14		Bar 13/14		LT 14/15	
AP	Temprana	P ₀	3.561	Aa	3.888	Aa	5.650	Aa
		P ₁	3.759		4.487		6.232	
	Tardía	P ₀	1.914	Ab	3.259	Ab	5.208	Ab
		P ₁	2.013		3.282		5.291	
BP	Temprana	P ₀	2.984	Ba	3.759	Ba	4.527	Ba
		P ₁	2.239		4.460		4.652	
	Tardía	P ₀	1.505	Bb	2.927	Bb	3.021	Bb
		P ₁	1.537		2.958		2.880	

La IR fue superior en las zonas de AP (IR = 87 %), que en zonas de BP (IR = 72 %). En el lote LT 13/14, las zonas de AP presentaron valores de IR superiores en las fechas de siembra tempranas en el período de R1 a R5, en comparación con las fechas de siembra tardías. En las zonas de baja productividad los IR fueron superiores en las fechas de siembra temprana, solamente en el período R1 – R3. Tanto en el lote Bar 13/14, como en Bar 14/15, en AP, no solo hubo un mayor % IR en los períodos R1 a R5, sino que también se evidenciaron aumentos en los tratamientos fertilizados con fosforo. Esto pudo deberse a que la nutrición fosforada resulta en mayor crecimiento, mayor cobertura del canopeo y por lo tanto mayor eficiencia en el uso de la radiación (Figura 2). Esto colabora con un mayor desarrollo de nódulos y, por lo tanto, una mayor tasa de fijación de N atmosférico reduciendo potenciales limitaciones en la nutrición nitrogenada del cultivo (Díaz Zorita *et al.*, 2000). En las zonas de BP, para ambos lotes, los % de IR fueron similares entre fechas de siembra, y niveles de fertilización con P.

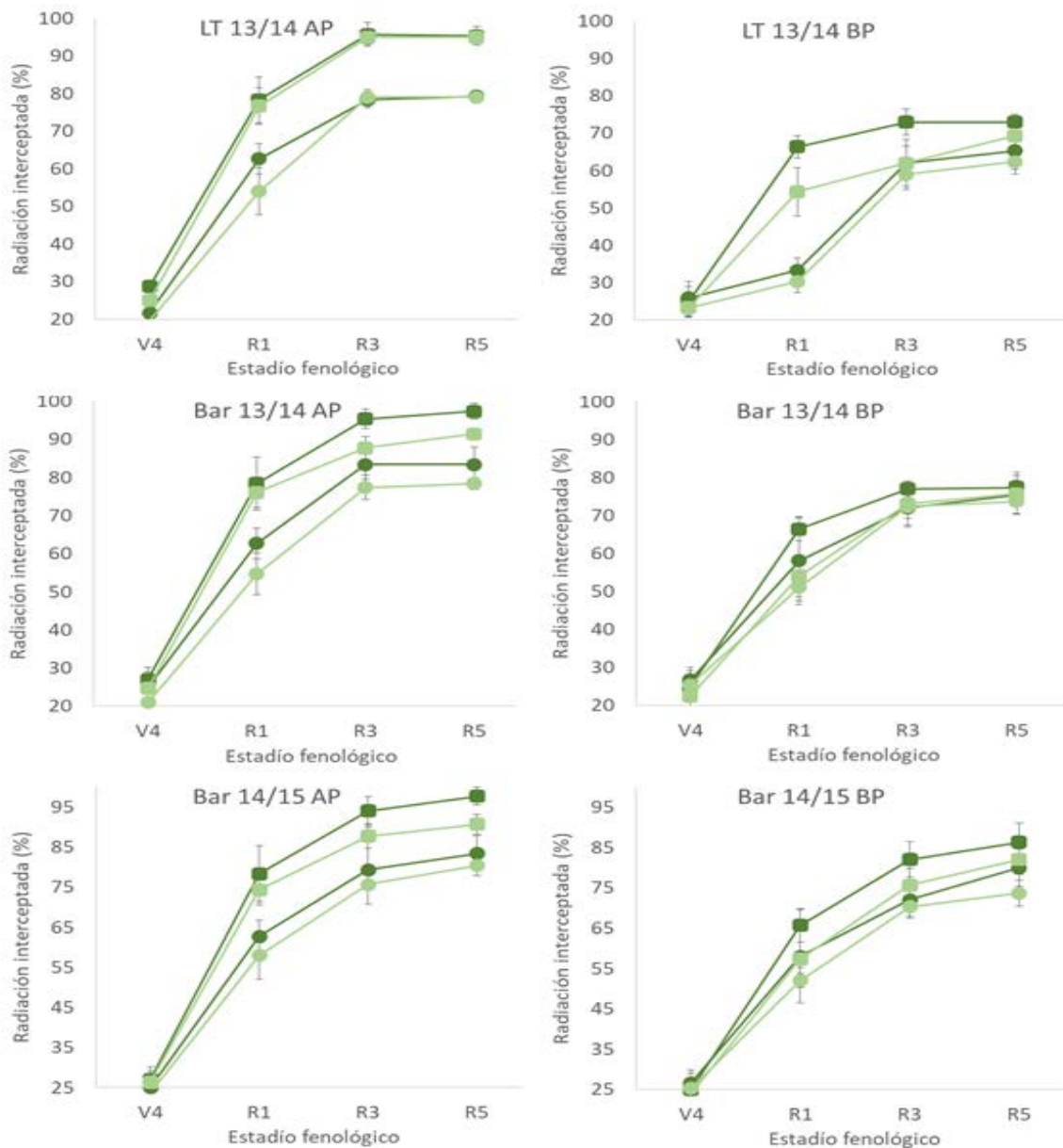


Figura 2. Evolución de la radiación interceptada de cultivos de soja en 3 lotes de la subregión pampa arenosa según zonas de manejo de alta (AP) y de baja productividad (BP), fechas de siembra (Temprana = cuadrados y Tardía = círculos), con (P_1 = símbolos oscuros) y sin (P_0 = símbolos claros) fertilización con fósforo.

El aumento de rendimiento de los tratamientos fertilizados con P, en función del índice ambiental presentaron una pendiente mayor que los tratamientos sin fertilización con P ($p < 0,01$). Se puede observar que por debajo de los 3.000 kg ha^{-1} de rendimiento las líneas se cruzan, indicando esto la ausencia de respuesta a P. Por encima de los 3.000 kg ha^{-1} y a medida que aumenta el rendimiento las curvas se separan, indicando que la respuesta del cultivo de soja a la fertilización con fósforo aumenta en los sitios con mayor potencial productivo. Esto puede deberse a que, a medida que aumenta el índice ambiental, los suelos presentan menores contenidos de P_e , y el cultivo aumenta sus requerimientos nutricionales, pudiendo aumentar la respuesta del cultivo a la fertilización fosforada (Salvagiotti, 2009).

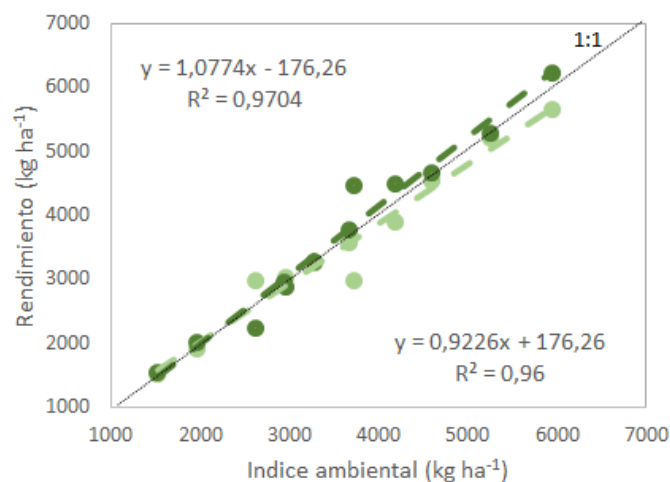


Figura 3. Rendimientos de tratamientos de fertilización con fósforo en soja (círculos oscuros) y sin fertilizar (círculos claros) según la productividad o índice ambiental.

CONCLUSIONES

La identificación de sitios con productividad aparente contrastante empleando fotointerpretación de imágenes satelitales permitió delimitar sectores con propiedades edáficas y de terreno diferentes que modificaron los niveles de rendimientos alcanzados por los cultivos de soja.

Al aumentar la productividad del sitio a partir de diferentes zonas de manejo, y fechas de siembra, para el cultivo de soja, la respuesta a P se incrementa a partir de los 3.000 kg ha⁻¹ de rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Barraco, M. R., Díaz-Zorita, M., Miranda, W. R., y 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.
- Berardo, A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. En Simposio "El fósforo en la agricultura argentina". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires (pp. 38-44).
- Cordell, D; JO Drangert y 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., y Casas, R. 2009. Extracción de nutrientes en la Agricultura Argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur (IPNI)*, 44, 21-26.
- Díaz Zorita M., G. Grosso, M. Fernandez Caniggia y G. Duarte. 2000. Efectos de la ubicación de un fertilizante nitrógeno-fosfatado sobre la nodulación y la producción de soja en siembra directa en la región de la Pampa Arenosa, Argentina. *Ciencia del Suelo* 17(2):62-65.
- Ferraris, G., Boem, F. G., y Echeverría, H. 2002. Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. *IDIA XXI*, II (3), 52-58.
- García, F. O. 1999. Fósforo y azufre en el cultivo de maíz. *Informaciones agronómicas N°3- INPOFOS-PPI-PPIC*.
- Salvagiotti, F. 2009. Rendimientos potenciales en maíz. *Brechas de producción y prácticas de manejo para reducirlas. Para mejorar la producción*, 41, 61-66.
- Schneider, J. D., Renzi, D. Á., Lavado, R. S., & Torri, S. I. 1997. Efecto de la fertilización fosforada y nitrogenada en soja en el centro-oeste bonaerense (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 15(1), 36-38.