

Factores que afectan la disponibilidad de fósforo en suelos bajo siembra directa del sudoeste bonaerense

Fernando M. López, Matías Duval, Juan Manuel Martínez, Juan A. Galantini

Muchas veces en suelos bajo siembra directa se observa respuesta a la fertilización con fósforo (P) aún en suelos donde el análisis de P extraíble está por encima de los niveles de suficiencia. En el presente trabajo se analizan varios factores que condicionan la absorción de P edáfico por los cultivos, en suelos bajo siembra directa



El fósforo (P) es un nutriente crítico para la producción de alimentos y uno de los elementos que más comúnmente limitan la productividad primaria (Vitousek et al., 2010; Faucon et al., 2015; Stutter et al., 2015). Recientemente ha aumentado el interés acerca de su dinámica en los agroecosistemas debido a su incidencia en aspectos agronómicos, económicos y ambientales (Damon et al., 2014). En la producción agropecuaria es necesario aumentar la eficiencia de uso de este nutriente, debido a tres causas principales: 1) es un elemento limitante del desarrollo de los cultivos (Dodd & Sharpley, 2015); 2) los reservorios de roca fosfórica son muy escasos (USGS, 2016) y 3) el P incide en la eutrofización de cursos de agua (Bennett et al., 2001). Para ello, es necesario generar un mayor conocimiento de los mecanismos implicados en su disponibilidad para las plantas (Hu et al., 2012; Stutter et al., 2015), que permita un manejo más eficiente de los fertilizantes, evitando su alto costo ambiental (Darilek et al., 2011; Stutter et al., 2012). A partir del cambio de uso y manejo del suelo en el SOB, asociado al incremento del área bajo SD (Schmidt & Amiotti, 2015; Zilio, 2015), es necesario evaluar el estado de las propiedades físicas y la actividad microbiana y enzimática del suelo que podrían afectar la disponibilidad de P para los cultivos. El objetivo de este trabajo fue analizar diferentes factores que afectarían la disponibilidad de P para los cultivos en suelos del SOB con historia bajo SD.

Aspectos metodológicos

El estudio se realizó durante los años 2013, 2014 y 2015, en tres sitios con más de 12 años bajo SD del SOB. Los establecimientos seleccionados correspondían a miembros de la regional Bahía Blanca de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa

(AAPRESID), ubicados en cercanías de las localidades de Tornquist (TOR), Saldungaray (SAL) y Las Oscuras (LOS).

La evaluación de la disponibilidad de P, propiedades físicas, respiración del suelo (RESP) y actividad enzimática se realizó en los 20 cm superiores del perfil. En cada sitio se tomaron aleatoriamente tres muestras de suelo sin disturbar mediante cilindros de acero de 5 cm de alto y 4,5 cm de diámetro, a 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm de profundidad. Las muestras fueron tomadas al momento de la siembra de los cultivos invernales (mayo-junio). Para la evaluación del espacio poroso del suelo se determinó la densidad aparente (DA) por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) y se determinaron los diferentes tamaños de poros a partir de la curva de retención hídrica (Hassink et al., 1993; Klute, 1986). Los tamaños de poros se analizaron en base a la clasificación propuesta por Kay & VandenBygaart (2002). Sobre las muestras secas al aire y tamizadas por 2 mm se determinó el P extraíble (Pe) por el método de Bray & Kurtz (1945). La actividad de microorganismos heterótrofos (RESP) se evaluó mediante la medición de la respiración por un método similar al establecido por Zibilske (1994). Dado que el CO₂ producido de la mineralización de la materia orgánica es producido por la respiración de microorganismos, se presentó como mg C-CO₂ 100 g suelo⁻¹ d⁻¹ (Haynes, 2005). Los datos en todas las tablas y figuras se presentaron como medias y las diferencias fueron probadas por análisis de la varianza (ANAVA). En los casos donde se observó heterocedasticidad se realizó la transformación de las variables con la función logaritmo para el ANAVA y se presentan los datos de las variables retransformadas. Para la comparación de medias se utilizó el test de diferencias mínimas significativas de Fisher, evaluando la interacción entre factores. También se realizó el análisis de correlación de Pearson y regresiones simples para evaluar el grado de asociación entre variables. Los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2013).

Resultados y discusión

El Pe en 0-20 cm demostró importantes variaciones entre sitios y años (Tabla 1). En el sitio SAL en particular se observó una gran variación interanual del Pe, probablemente relacionado con las importantes variaciones en las precipitaciones durante el barbecho, muy superiores en el año 2014. No existen trabajos en la región que evalúen el nivel de suficiencia de Pe para trigo bajo SD. Según los resultados obtenidos por Ron y Loewy (1990) en labranza convencional, estos suelos presentarían baja probabilidad de respuesta a la fertilización debido a la concentración de Pe superior a 10,5 mg kg⁻¹ en 0-20 cm. Sin

embargo, coincidiendo con Ron (2012), los productores han observado gran respuesta a la fertilización fosfórica del cultivo de trigo en los suelos y años evaluados (comunicación personal). Debido al posible encubrimiento de la estratificación en el muestreo de 0-20 cm, se procedió a evaluar la estratificación del Pe para los diferentes sitios y años (Tabla 1). En todos los sitios se observaron disminuciones significativas en los niveles de Pe con la profundidad ($p < 0,01$).

Tabla 1. Fósforo extraíble (Pe, Bray y Kurtz I, mg kg⁻¹) para cada año y sitio, según profundidad.

Profundidad (cm)	LOS			SAL			TOR		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
0-20	18,8	13,0	16,0	17,4	38,5	14,1	16,4	21,7	16,9
0-5	38,1 a	30,9 a	34,1 a	55,8 a	75,9 a	42,2 a	42,8 a	46,8 a	37,7 a
5-10	23,6 b	6,7 b	12,5 b	15,6 b	48,2 b	22,2 b	22,9 b	11,7 b	19,0 b
10-15	7,0 c	2,8 c	5,9 c	2,8 c	22,4 c	11,5 c	4,0 c	1,9 c	6,3 c
15-20	5,7 c	1,7 d	3,5 d	1,7 c	6,0 d	4,4 d	2,4 c	0,6 d	4,3 c
5-20	12,1	4,0	7,3	6,7	25,5	12,7	9,8	4,7	9,9

Letras diferentes para cada sitio y año demuestran diferencias entre profundidades ($p < 0,05$). LOS: Las Oscuras; SAL: Saldungaray; TOR: Tornquist.

En todos los sitios, los valores de Pe difirieron significativamente entre profundidades donde: $0-5 > 5-10 > 10-15 \geq 15-20$ cm. Al igual que lo encontrado por otros autores (Kruger, 1996; Calviño et al., 2000; Covacevich et al., 2008), en subsuperficie las concentraciones de Pe fueron muy bajas. Según Kruger (1996) la excesiva estratificación perjudicaría la nutrición de los cultivos en la región semiárida pampeana. Del mismo modo, Deubel et al. (2011) han establecido que en ambientes semiáridos, la captación de nutrientes por las plantas en la capa superficial del suelo está condicionada por la presencia de humedad, por lo que los nutrientes en superficie no serían totalmente aprovechables por los cultivos. Además, la importante acumulación de Pe en los 5 cm superiores del perfil podría provocar una importante pérdida de P del sistema por erosión hídrica o eólica (Bennett et al., 2001). La concentración de Pe en 5-20 cm presentó importantes variaciones entre sitios y años, siendo en el 67% de los casos inferior al nivel de suficiencia. Costa et al. (2010) y Kang et al. (2014) han demostrado que el aumento de la disponibilidad de P en capas subsuperficiales incrementa los rendimientos de grano y la eficiencia de uso del agua de trigo, a través del incremento del desarrollo de raíces en regiones semiáridas. Además, considerando que una estrategia para la agricultura en zonas

semiáridas es aumentar la profundidad de siembra para lograr el contacto de la semilla con la humedad edáfica (Mahdi et al., 1998), la estratificación afectaría más severamente la disponibilidad de P para los cultivos.

La actividad de microorganismos (RESP) también presentó importantes variaciones entre años y sitios ($p < 0,01$). Dilustro et al. (2005) y Berhongaray et al. (2013) ya han reportado importantes cambios en la actividad de microorganismos heterótrofos en áreas geográficas pequeñas, asociados a la variación de la textura del suelo. Esta variación de la RESP en diferentes suelos del SOB bajo el mismo manejo podría tener importantes implicancias en el ciclado de nutrientes, como el P. Al igual que el Pe, la RESP presentó importantes variaciones con la profundidad (Figura 1). Varios autores (Kay & VandenBygaart, 2002; Covacevich et al., 2008; Franzluebbers, 2016) ya han establecido que la estratificación de la MO en suelos bajo SD generalmente es acompañada por una distribución diferencial de los microorganismos en el perfil, lo que afectaría la disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

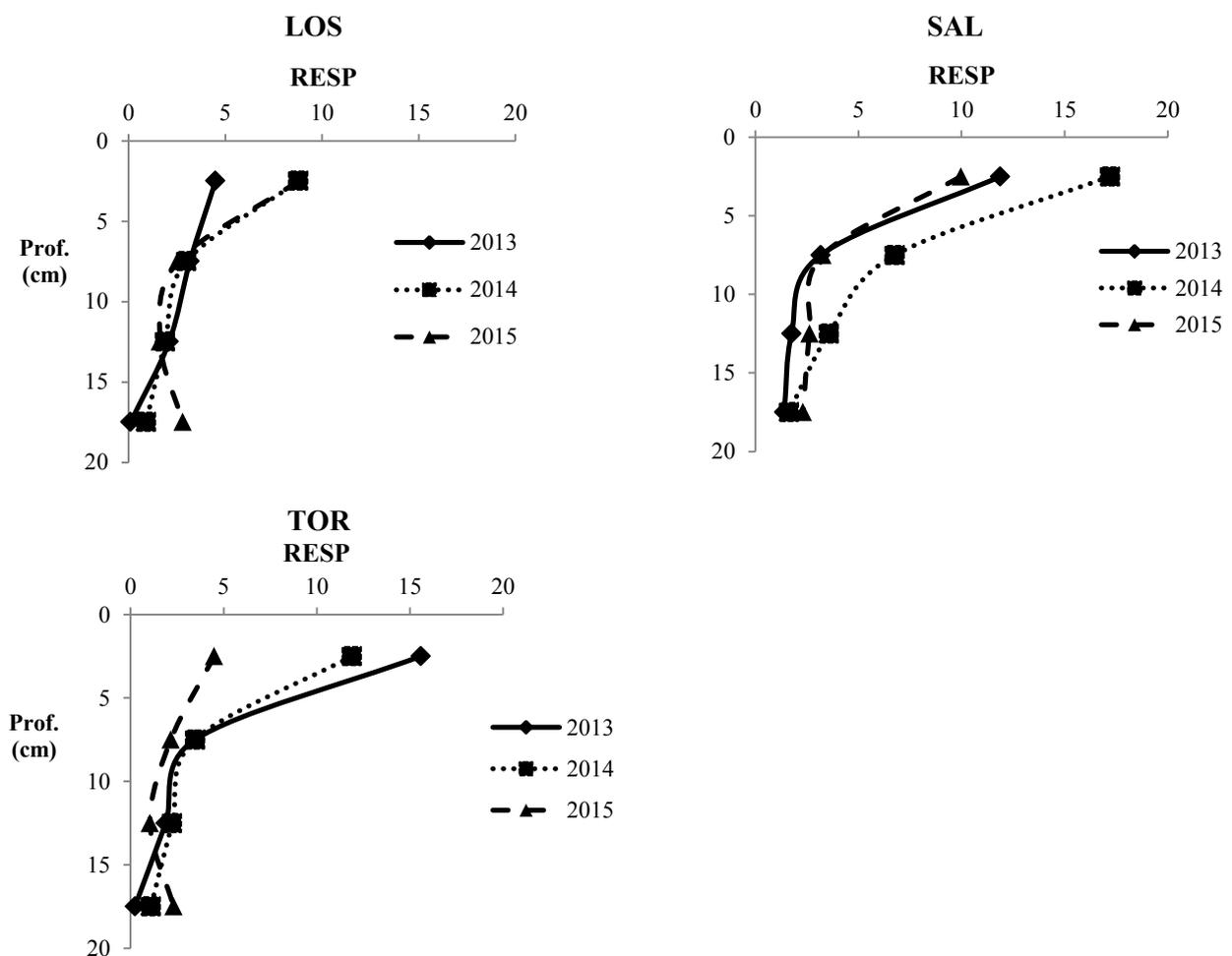


Figura 1. Actividad microbiana (RESP, mg CO₂ 100 g suelo⁻¹ día⁻¹) según profundidad, para cada sitio y año. LOS: Las Oscuras; SAL: Saldungaray; TOR: Tornquist.

En la Tabla 2 se detallan la DA, porosidad total y la distribución por tamaño de poro de cada suelo, según profundidad. Los tres sitios presentaron baja proporción de macroporos en subsuperficie (10-20 cm) y un aumento de los poros de menor tamaño. Al respecto, varios autores han reportado la persistencia de limitantes físicas en subsuperficie en suelos del SOB bajo SD continua (Schmidt & Amiotti, 2015; López et al., 2016) que podría afectar la exploración y respiración radical (Hamblin, 1985; Kay, 1990). Coincidiendo con López et al. (2016) dichas limitantes físicas no pueden ser atribuidas al manejo de SD ya que podrían estar determinadas por el uso y manejo de suelo anterior a la implementación de la SD y la pérdida de materia orgánica. Sin embargo, la persistencia de estas limitantes físicas en subsuperficie en suelos bajo SD podría afectar la disponibilidad de P para los cultivos.

Tabla 2. Densidad aparente (DA, Mg m⁻³), porosidad total (PT) y distribución por tamaño de poro en cada sitio.

Sitio	Prof.	DA	PT	MP	MPg	MPp	mP	μP
LOS	0-5	1,23	0,530	0,235	0,164	0,070	0,196	0,100
	5-10	1,49	0,441	0,147	0,101	0,046	0,193	0,101
	10-15	1,52	0,427	0,126	0,088	0,038	0,175	0,126
	15-20	1,52	0,422	0,093	0,063	0,030	0,190	0,139
SAL	0-5	1,14	0,553	0,190	0,119	0,071	0,233	0,130
	5-10	1,27	0,554	0,179	0,104	0,074	0,221	0,154
	10-15	1,36	0,493	0,129	0,080	0,049	0,189	0,175
	15-20	1,44	0,470	0,095	0,063	0,032	0,180	0,196
TOR	0-5	1,29	0,489	0,139	0,117	0,023	0,177	0,173
	5-10	1,46	0,461	0,103	0,082	0,021	0,164	0,193
	10-15	1,56	0,434	0,056	0,034	0,022	0,166	0,213
	15-20	1,53	0,444	0,045	0,026	0,019	0,185	0,213

LOS: Las Oscuras; SAL: Saldungaray; TOR: Tornquist. MP: macroporos (>30 μm); MPg: macroporos grandes (>60 μm); MPp: macroporos pequeños (60-30 μm); mP: mesoporos (30-0,2 μm); μP: microporos (<0,2 μm).

Para un adecuado desarrollo de los cultivos Pilatti et al. (2012) establecieron que la porosidad de aireación del suelo debería ser mayor de 0,15 m³ m⁻³. En ninguno de los sitios evaluados se observó esa proporción de MP en subsuperficie (10-20 cm). Esta baja proporción de poros de mayor tamaño (MP y mPg) podría afectar la disponibilidad de P para los cultivos, debido a una menor exploración radical. Según Hamza & Anderson (2005) la presencia de limitantes físicas en subsuperficie aumentaría la respuesta a la fertilización de los cultivos. Es probable que la alta respuesta a la fertilización fosfórica en los suelos evaluados esté influenciada por limitantes físicas, a pesar de contar con niveles adecuados de Pe en 0-20 cm. Además, hay

que tener en cuenta que para el análisis de Pe se evalúa el suelo tamizado, por lo que no se tiene en cuenta la estructura y porosidad del suelo y la accesibilidad de los cultivos al P edáfico.

Conclusiones

Los suelos del SOB con historia bajo SD presentarían una importante estratificación del Pe y de microorganismos en el suelo que podría afectar la disponibilidad de P para los cultivos. La fertilidad física de los suelos evaluados, con baja proporción de poros de mayor tamaño (MP y mPg) en capas subsuperficiales (10-20 cm), también podría afectar la accesibilidad de los cultivos al P edáfico. Estos factores podrían explicar la alta respuesta a la fertilización fosfórica en suelos que presentan valores de Pe en 0-20 cm por encima de los niveles de suficiencia. Es necesario generar mayor información que permita mejorar la gestión del P en suelos bajo SD de la región, así como definir nuevos parámetros que permitan evaluar de forma correcta la disponibilidad de P para los cultivos en estos suelos. Para la mejora en el manejo del P y la correcta evaluación de su disponibilidad sería necesaria una mirada sistémica teniendo en cuenta varias propiedades edáficas como la estratificación, el componente orgánico de los suelos y la fertilidad física.

Bibliografía consultada

- Bennett, EMM SR Carpenter & NF Caraco. 2001. Human Impact on Erodable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective. *BioScience* Vol. 51 No. 3, 227-234.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk density. En: Klute, A (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Agronomy*. second ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 363-375.
- Bordoli, JM, Quincke A; Marchessi A. 2004. Fertilización fosfatada de trigo en siembra directa. CD Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná (ER) Argentina
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59, 39-45.
- Costa, SEVGA; ED Souza; I Anghinoni; JPC Flores; FCB Vieira; AP Martins & EVO Ferreira. 2010. Patterns in phosphorus and corn root distribution and yield in long-term tillage systems with fertilizer application. *Soil Till. Res.* 109, 41-49.
- Covacevich, F; H Sainz Rozas; P Barbieri & H Echeverría. 2008. Crecimiento y micorrización arbuscular nativa de trigo en siembra directa bajo distintas formas de colocación de fósforo. *Ciencia del suelo* 26 (2), 169-175.
- Darilek, JL; W Sun & B Huang. 2011. Effect of Moisture Conditions in Rice Paddies on Phosphorus Fractionation in Agriculture Soils of Rapidly Developing Regions of China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42, 1752-1764.
- Di Rienzo JA; F Casanoves F; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dodd, RJ & AN Sharpley. 2015. Recognizing the role of soil organic phosphorus in soil fertility and water quality. *Resources, Conservation and Recycling* 105, 282-293.
- Faucon, M; D Houben; JP Reynoard; AM Mercadal-Dulaurent; R Armand & H Lambers. 2015. Advances and perspectives to improve the phosphorus availability in cropping systems for agroecological phosphorus management. *Adv. Agron.* 134, 51-79.

- Franzluebbers, AJ. 2016. Should Soil Testing Services Measure Soil Biological Activity?. *Agricultural & Environmental Letters*. doi:10.2134/ael2015.11.0009
- García, F.; Fabrizzi, K, Ruffo, M. & P Scarabicchi. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. *Actas VI Congreso Nacional de Maíz*. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina
- Gupta, SC & RR Allmaras. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Advances in Soil Science*, v.6, 65-100.
- Hamblin, AP. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Adv. Agron.* 38, 95-158.
- Hassink, J; LA Bouwman; KB Zwart & L Brussaard. 1993. Relationships between habitable pore space, soil biota and mineralization rates in grassland soils. *Soil Biol. Biochem.* 25, 47-55.
- Haynes, RJ. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. *Advances in Agronomy* 85, 221-268.
- Kang, L; S Yue & S Li. 2014. Effects of phosphorus application in different soil layers on root growth, yield, and water-use efficiency of winter wheat grown under semi-arid conditions. *Journal of Integrative Agriculture* 13(9), 2028-2039
- Kay, B. D., VandenBygaart, A.J., 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil Till. Res.* 66, 107-118.
- Kay, BD. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 12, 1-52.
- Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. En: Klute, A (ed.). *Methods of soil analysis*. Part 1. *Agronomy Monograph N°9*. Pp. 597-618. American Society of Agronomy y Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, Estados Unidos.
- Kruger, HR. 1996. Sistemas de labranza y variación de propiedades químicas en un haplustol entico. *Ciencia del Suelo* 14, 53-55.
- Loewy, T. 2002. Estrategias de fertilización fosfórica en la región pampeana argentina. En: *Simpósio de fósforo: enfoque sistémico de la fertilización fosfórica*, 16-18.
- López, FM; ME Duval; JM Martínez & J Galantini. 2015. Cobertura en el sudoeste bonaerense en suelos bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 33 (2) 273-281.
- Mahdi, L; CJ Bellb & J Ryan. 1998. Establishment and yield of wheat after early sowing at various depths in a semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Research* 58, 187-196.
- Pilatti, MA; J De Orellana; SDC Imhoff & A Pires Da Silva. 2012. Actualización de los límites críticos del intervalo hídrico óptimo. *Ciencia del Suelo* 30 (1), 9-21.
- Ron, M. 2012. Gestión del fósforo en sistemas agropecuarios del sudoeste bonaerense. *AgroUNS N°17*, 9-12.
- Ron, MM & T Loewy. 1990. Fertilización fosfórica del trigo en el sudoeste bonaerense: I Modelos de respuesta. *Ciencia del Suelo* 8 (2), 187-194.
- Ron, MM & T Loewy. 2000. Modelo de fertilización nitrogenada y fosforada para trigo en el sudoeste bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo* 18 (1), 44-49.
- Schmidt, ES & NM Amiotti. 2015. Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur. *Ciencia del Suelo* 33 (1), 79-88.
- Stutter, MI; CA Shand; TS George; L Dixon; R Bol; RL Mackay; AE Richardson; LM Condon & PM Haygarth. 2015. Land use and soil factors affecting accumulation of phosphorus species in temperate soils. *Geoderma* 257-258, 29-39.
- Stutter, MI; CA Shand; TS George; MSA Blackwell; R Bol; RL Mackay; AE Richardson; LM Condon; BL Turner & PM Haygarth. 2012. Recovering phosphorus from soil — a root solution? *Environ. Sci. Technol.* 46, 1977-1978.
- Zibilske LM. 1994. Carbon Mineralization. In: *Methods of soil analysis, Part 2, Microbiological and Biochemical Properties*. Weaver et al. (eds.). Soil Sci. Soc. of America Inc., Wisconsin, USA. Pp. 835-863.
- Zilio, J. 2015. Aspectos de calidad de suelos representativos del sur de la provincia de Buenos Aires y efectos de la actividad agropecuaria sobre la misma. Tesis de M.Sc. UNS