

RESPUESTA DE MAÍZ Y SOJA A FUENTES GRANULADAS Y LIQUIDAS DE FÓSFORO EN SUELOS DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA

CORN AND SOYBEAN RESPONSE TO GRANULATED AND LIQUID PHOSPHORUS FERTILIZER IN SOILS OF THE SEMIARID PAMPAS

Adema Bernal María I.¹, Santiago H. Paternessi¹
& Elke J. Noellemeyer^{1*}

Recibido 30/10/16

Aceptado 8/02/17

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la eficacia de dos métodos para la determinación del P disponible y la respuesta de maíz y soja a la fertilización fosforada con fuentes sólida y líquida de P en un suelo Hapludol típico con presencia de carbonatos de calcio. El ensayo se realizó en las cercanías de General Pico (La Pampa) y durante dos campañas se fertilizó maíces de siembra temprana y tardía y en una campaña dos cultivares de soja, con superfosfato triple (SPT) y polifosfato de amonio (APP) con una dosis de 40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅. Se determinó el P disponible en los primeros 20 cm por los métodos Bray-Kurtz 1 y Olsen, y el rendimiento para todos los tratamientos. Los resultados mostraron que no hubo respuesta al agregado de P con excepción de dos tratamientos fertilizados con SPT (maíz tardío y soja grupo 4 corto). Los valores de P extractable a la cosecha fueron mayores para los tratamientos fertilizados con APP. Esto se observó sobre todo para el P Olsen, mientras que para Bray-Kurtz 1 las diferencias fueron menores. Estos resultados indicarían que los suelos solubilizarían suficientes cantidades de P para satisfacer los requerimientos de maíces y soja. La diferencia entre las dos fuentes de P no se manifestó.

PALABRAS CLAVE: Bray-Kurtz 1, P Olsen, polifosfato de amonio, superfosfato triple

ABSTRACT

The aim of the survey was to evaluate the efficiency of two methods for the determination of available P and the effect of fertilization with solid and liquid P sources on corn and soybean crops in soils with calcium carbonates. A field experiment near general Pico (La Pampa) was used where during two crop seasons early and late planted corn and in one season two maturity groups of soybean were fertilized with triple superphosphate (TSP) and ammonium polyphosphate (APP) at 40 kg.ha⁻¹ of P₂O₅. The available P was determined with Bray-Kurtz 1 and Olsen extractions, and the yield was recorded in all treatments. The results showed no response to P addition except in two fertilized treatments with TSP (one late corn crop and in the group 4 soybean cultivar). This was particularly true for P-Olsen, while for Bray-Kurtz 1 the differences were less. These results indicated that the soils solubilized sufficient quantities of P to satisfy the requirements of corn and soybean and no differences between the two sources was found.

KEY WORDS: Bray-Kurtz 1, Olsen, ammonium polyphosphate, triple superphosphate

Cómo citar este trabajo:

Adema Bernal M.I., S.H. Paternessi & E.J. Noellemeyer. 2017. Respuesta de maíz y soja a fuentes granuladas y líquidas de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana. *Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 27(1): 11-18.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, numerosos suelos presentan contenidos de P Bray- Kurtz 1 menores de 10 mg P.kg⁻¹ en las provincias de La Pampa y

¹ Facultad de Agronomía UNLPam
* enoellemeyer@gmail.com



Buenos Aires debido al uso agrícola y los procesos de pérdida asociados a la erosión eólica (Buschiazzo *et al.*, 2001). Los bajos niveles de P encontrados y su progresivo deterioro limitan la producción de granos en el país. Para solucionar este problema y aumentar los tenores de P en suelo, la fertilización aparece como la opción más rentable y técnicamente viable, y ha demostrado tener efectos positivos en el rendimiento de maíz y otros cultivos (Alamgir & Marschner, 2013; Mason *et al.*, 2010).

La reducida movilidad del ion ortofosfato y la retención del fertilizante fosfatado en el suelo requiere de la aplicación localizada del mismo, especialmente en suelos de bajo contenido de P disponible y en siembras tempranas (McBeath *et al.*, 2007). El fósforo es el macronutriente de menor movilidad y baja disponibilidad para las plantas en la mayoría de los suelos. La baja movilidad de los iones fosfato (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) se debe a su interacción con los constituyentes coloidales del suelo que determina que sólo una pequeña proporción del fósforo esté presente como iones en la solución de suelo (Lombi *et al.*, 2005; McLaughlin *et al.*, 2011).

Los fertilizantes sólidos generalmente poseen una solubilidad limitada, sobre todo en suelos alcalinos o calcáreos, por lo que frecuentemente se observa una cubierta de calcio que se forma en los granos del fertilizante en estos suelos, disminuyendo aún más la disponibilidad del P (McBeath *et al.*, 2006). Es por este motivo que se han desarrollado fuentes líquidas de este elemento cuya solubilidad sería mayor y por ende la eficiencia de uso de fósforo por parte del cultivo aumentaría respecto a las fuentes sólidas tradicionales (Lombi *et al.*, 2005).

En los ambientes de la región centro-este de la provincia de La Pampa predominan suelos con presencia de carbonatos de calcio, sobre todo en los bajos, donde las capas freáticas cercanas a la superficie aportan esta sal. En estos suelos se presume que la disponibilidad de P sea condicionada por la baja solubilidad del elemento y que la aplicación de fuentes líquidas de P podría mejorar la nutrición fosforada de los cultivos. Por otra parte, la presencia de carbona-

tos de calcio también dificultaría la determinación de P disponible por el método de Bray-Kurtz 1, ya que se propone el uso del método de Olsen para suelos calcáreos o alcalinos (Daly *et al.*, 2015).

El ensayo tuvo como objetivos evaluar la eficacia de dos métodos de diagnóstico para la determinación del P disponible y evaluar el efecto de la fertilización fosforada con fuentes sólida y líquida de P sobre cultivos de maíz y soja en un suelo Hapludol típico con presencia de carbonatos de calcio en el horizonte superficial.

MATERIALES Y METODOS

La experiencia se realizó durante las campañas 2012/2013 y 2013/2014 en el establecimiento "May Ju", ubicado en Trebolares (Gral. Pico, La Pampa) El clima es templado con un régimen de precipitaciones estivales (500–750 mm año⁻¹) y una temperatura media anual de 16°C. El suelo del sitio fue clasificado como Hapludol típico thapto frágico (Álvarez *et al.*, 2015) (con presencia de carbonatos en el horizonte Ap (0-15 cm). En la tabla 1 se describen las propiedades físico-químicas del perfil.

Para el diseño del ensayo se contemplaron los factores fertilizante (Superfosfato triple como fuente de P sólida, polifosfato de amonio como fuente de P líquida, Testigo sin fertilizar) y cultivo (Maíz de siembra temprana, Maíz de siembra tardía, Soja de grupo de madurez 3 largo, Soja de grupo de madurez 4 corto). La combinación de estos factores (fertilizante x cultivo) originó 12 tratamientos los cuales se dispusieron en franjas apareadas.

Se utilizó el híbrido de maíz DK 190 TRIPLE PRO, la siembra temprana se realizó a mediados de octubre y la siembra tardía a mediados de diciembre en las dos campañas, con un distanciamiento entre surcos de 52 cm y una densidad de logro de 60.000 pl.ha⁻¹. El cultivo de soja se sembró a mediados de noviembre con una densidad a lograr de 370.000 pl.ha⁻¹ y un distanciamiento de 35 cm y se utilizaron las variedades DM 3810 y DM 4670.

La fertilización fosforada con superfosfato triple (SPT) y polifosfato de amonio (APP) se re-

Tabla 1: Propiedades químicas, físico-químicas y físicas del perfil
 Table 1: Chemical, physical-chemical and physical properties of the soil profile

Horizontes	Ap	A2	Bw	BC	2Btx	2Btkm
	Profundidad (cm)					
	0-15	15-32	32-50	50-68	68-100	100
Carbono (%)	1,30	0,87	0,41	0,15	0,01	0,01
Nitrogeno (%)	0,12	0,09	0,05	0,04	0,03	0,04
Fósforo (mg/kg)	15,20	5,60	3,00	3,40	2,40	3,30
Textura						
Arcilla < 2 (µm)	12,36	16,18	15,12	12,93	8,73	7,57
Limo 2-50 (µm)	31,65	26,05	24,67	19,82	19,21	23,29
Arena muy fina 53-105 (µm)	6,95	6,45	8,35	7,10	7,40	7,45
Arena fina 105-250 (µm)	39,15	38,50	45,50	47,25	50,35	45,80
Arena media a gruesa 250-2000 (mm)	5,05	4,55	5,25	5,65	6,40	5,25
Carbonatos (%)	0,40	0,10	0,80	0,70	0,30	0,80
pH agua (1: 2,5)	5,69	5,94	6,42	6,09	7,66	8,56
CE (dS.m ⁻¹)	0,41	0,61	0,47	1,37	0,33	1,44
Cationes de intercambio (cmol.kg⁻¹)						
Na	0,05	1,75	0,15	0,63	1,42	2,93
K	1,92	1,00	0,52	0,48	0,80	1,92
Ca	5,20	6,80	6,50	4,80	6,20	2,80
Mg	1,20	2,30	3,20	2,30	4,30	2,10
Suma de bases (cmol.kg ⁻¹)	8,37	11,85	10,37	8,21	12,72	9,75
CIC (cmol/kg)	11,30	13,20	11,80	9,80	9,70	13,80
Saturación con bases (%)	74,07	89,77	87,88	83,78	--	70,65

alizó al momento de la siembra y la dosis utilizada para ambos fertilizantes fue de 40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

Durante la campaña 2012/2013 las precipitaciones estuvieron por encima del promedio mientras que durante la campaña 2013/2014 estuvieron por debajo de lo normal para la zona. Las mismas se detallan mensualmente en la tabla 2.

Se estableció una grilla de muestreo con puntos ubicados a una distancia de 20 y a 8 metros entre sí (20×8). En cada punto se realizó un muestreo de suelo de 0 a 20 cm de profundidad con barreno para la determinación de P extractable al finalizar el ciclo del cultivo. El rendi-

miento (kg.ha⁻¹) se obtuvo recolectando una superficie de 0,5 m² de cada punto de la grilla de muestreo y posteriormente se realizó trilla estática.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm para el método de Olsen (Schoenau, 2006) y se tamizó el suelo por 0,5 mm para la determinación de BrayKurtz I. Los resultados de los ensayos se analizaron estadísticamente mediante la utilización de modelos lineales mixtos para contemplar la falta de independencia de los datos. Para las diferencias de medias se utilizó la prueba de Tukey, con el software estadístico InfoStat versión 2011 (Di Rienzo *et al.*, 2013)

Tabla 2: Diseño experimental del ensayo
Table 2: Experimental Design Test

Campaña 2012/2013											
T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Maíz Te SPT	Maíz Te APP	Maíz Te	Maíz Ta SPT	Maíz Tardío APP	Maíz Ta	Soja G3 SPT	Soja G3 APP	Soja G3	Soja G4 SPT	Soja G4 APP	Soja G4
		T			T			T			T

Campaña 2013/2014											
T6	T7	T8	T9	T10	T11	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Soja G3 SPT	Soja G3 APP	Soja G3	Soja G4 SPT	Soja G4 APP	Soja G4	Maíz Te SPT	Maíz Te APP	Maíz Te	Maíz Ta SPT	Maíz Tardío APP	Maíz Ta
		T			T			T			T

Referencias: T0,T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,T9,T10,T11: Tratamientos; Maíz Te: Maíz de siembra Temprana; Maíz Ta: Maíz de siembra Tardía; Soja G3: Soja de Grupo de madurez 3; Soja G4: Soja de Grupo de madurez 4; SPT: Superfosfato Triple; APP: Polifosfato de Amonio; T: Testigo sin fertilizar.

References: T0, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11: Treatments; Maize Te: Early Seeding Corn; Corn Ta: Seed corn late; Soybean G3: Maturity Group Soybean 3; Soybean G4: Maturity Group Soybean 4; SPT: Triple superfostat; APP: Ammonium Polyphosphate; T: unfertilized.

Tabla 3: Precipitaciones mensuales (mm) ocurridas durante las campañas 2012/2013 y 2013/2014

Table 3: Monthly Rainfall (mm) occurred during 2012/2013 and 2013/2014 periods

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2012	112	281	111	96	58	0	0	13	48	169	83	51	1022
2013	0	0	49	16	14	12	18	0	29	13	79	40	270
2014	14	155	76	170	57	3	0	0	95	67	21	18	676

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fósforo extractable por los métodos de bray y olsen

Los niveles de fósforo disponible determinados por los métodos de Bray-Kurtz 1 y de Olsen

mostraron una relación positiva y lineal para todos los datos de los dos años del ensayo (Fig. 1). Sin embargo, el valor bajo de R^2 indicaría que la relación entre los valores estaría afectada por otros factores, por lo que no sería aconsejable utilizar ambas técnicas en forma equivalente.

Cuando se analizó el contenido de P extractable por ambos métodos en las parcelas fertilizadas con Superfosfato triple (SPT) y con Polifosfato de Amonio (APP) (Tabla 4) se observó que ambos métodos distinguen los aportes de P por parte de los fertilizantes, las cuales se diferenciaron entre sí y a su vez del testigo sin fertilizar. En las parcelas fertilizadas con APP los valores de P extractable fueron significativamente más altos que en aquellas que recibieron Superfosfato triple. Esta observación coincide con los resultados de estudios en suelos calcáreos de Australia (Lombi *et al.*, 2004).

Los valores de P extraídos con el método de Olsen fueron más bajos que los valores obtenidos por Bray-Kurtz 1, representando aproximadamente el 50% del valor de estos últimos. Al respecto, Fernández López y Mendoza (2008) ya señalaron que tanto los valores obtenidos por Bray-Kurtz 1 y Olsen, se relacionaron entre sí y con la absorción de P de parte del cultivo, pero que fueron menos estables que los obtenidos por el método STRIP de adsorción, el cual elimina la interferencia de cationes en la solubilización del fosfato.

A su vez, se observó que los datos de ambos métodos tuvieron altos coeficientes de variación,

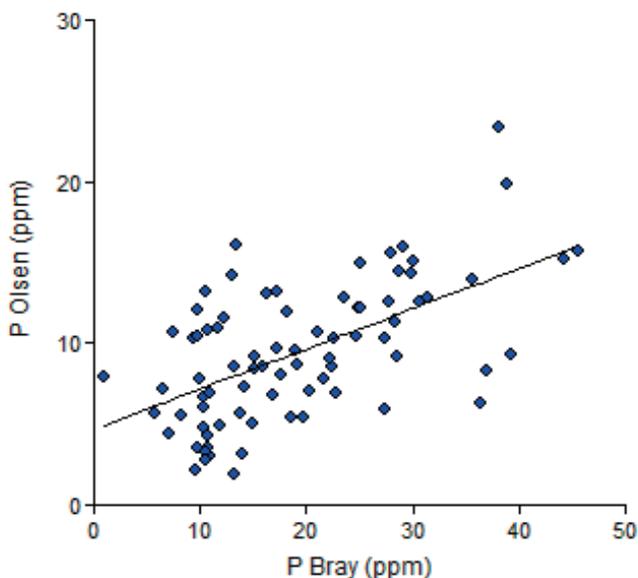


Figura 1: Relación entre valores de P Bray-Kurtz I y P Olsen para todas las muestras de suelo del ensayo. ($R^2=0,34$; $N = 80$).

Figure 1: Relationship between Bray-Kurtz and Olsen P values for all soil samples. of the test ($R^2 = 0.34$, $N = 80$).

Tabla 4: Contenidos de fósforo extractable (ppm) por Bray-Kurtz I y Olsen en los suelos de los diferentes tratamientos. (Test Tukey $p < 0.10$)

Table 4: Contents of extractable phosphorus (ppm) by Bray-Kurtz I and Olsen in the soils of the different treatments. (Tukey test $p < 0.10$)

Tratamientos	Bray	Olsen	N
Testigo	13,2 c	6,5 c	26
Superfosfato triple	19,2 b	9,2 b	27
Polifosfato de amonio	24,8 a	12,5 a	27
CV	45,5	37,0	

lo cual estaría asociado a la alta variabilidad espacial de los contenidos de P de los suelos (Kumhállová *et al.*, 2011)

Respuesta a la fertilización fosforada

Los datos de rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para maíz temprano de las campañas 2012/13 y 2013/14

no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos sin fertilizar y los fertilizados con SPT y APP (Tabla 5).

Los datos de rendimiento de maíz tardío para la campaña 2012/13 no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto a la campaña 2013/14, existieron diferencias significativas entre el rendimiento del testigo sin fertilizar y el tratamiento fertilizado con SPT para el maíz tardío (Tabla 2). En cambio, el tratamiento fertilizado con APP no difirió significativamente del testigo ni del tratamiento fertilizado con SPT. El tratamiento fertilizado con SPT fue el que presentó el mayor rendimiento.

Los datos de rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para Soja de grupo de madurez 3 largo de la campaña 2013/14 no presentaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos sin fertilizar, SPT y APP. En cambio, los rendimientos de Soja de grupo de madurez 4 corto mostraron diferencias significativas entre el tratamiento sin fertilizar (testigo) y el tratamiento fertilizado con superfosfato triple (Tabla 6). Este último fue el que presentó el mayor rendimiento

mientras que el tratamiento fertilizado con el fertilizante líquido (APP) mostró un rendimiento intermedio.

Luego de analizar los datos de contenido de P extractable en el suelo se observaron diferencias entre los distintos tratamientos sin fertilizar, fer-

Tabla 5: Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de Maíz de siembra temprana y Maíz de siembra tardía en las campañas 2012/2013 y 2013/2014.Table 5: Yield ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) of early sowing maize and late sowing maize in the 2012/2013 and 2013/2014 seasons.

Tratamientos	2012/2013		2013/2014		N
	Temprano	Tardío	Temprano	Tardío	
Testigo	8815 a	7063 a	3666 a	3430 b	4
Superfosfato triple	8529 a	7635 a	2550 a	5790 a	4
Polifosfato de amonio	8084 a	6987 a	2800 a	4850 ab	4
CV	20.3	36	57	31	

tilizado con SPT y con APP. Las diferencias, en algunos casos, fueron más acentuadas para el contenido de Olsen-P, lo que se podría explicar por el menor coeficiente de variación comparado con el que presenta el P Bray-Kurtz 1. Fernández López y Mendoza (2008) encontraron que en diferentes órdenes de suelos de la Argentina, los métodos de Bray-Kurtz 1 y Olsen reproducían bien la disponibilidad de fósforo para el cultivo de maíz, pero con menor precisión que el método de intercambio iónico. Sin embargo, en la región semiárida pampeana se cuenta con muy escasa información sobre los factores que inciden en la disponibilidad de fósforo (Suñer & Galantini, 2013).

Las diferencias encontradas en el contenido de P extractable no se trasladaron en una respuesta del cultivo a la fertilización ya que en la mayoría de los casos analizados no hubo dife-

rencias significativas en el rendimiento entre los distintos tratamientos. En el caso de los cultivos de maíz únicamente el de siembra tardía de la campaña 2013/14 respondió a la aplicación de SPT con un aumento de $2360 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que la respuesta a APP de $1420 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no fue significativa. Los rendimientos de los testigos en la campaña 2012/13 fueron muy altos y superaron los de la campaña siguiente en un 45%, lo cual podría explicarse porque durante esta campaña las precipitaciones estuvieron por encima de lo normal para la zona, mientras que en la campaña 2013/2014 las precipitaciones fueron inferiores al promedio. En esta situación, no se observaron respuestas a la fertilización fosforada, independientemente de la fuente utilizada. La falta de respuesta de los cultivos indicaría que en condiciones de abundante disponibilidad hídrica estos suelos solubilizarían P en cantidades suficientes para satisfacer las demandas de los cultivos, a pesar de acusar valores bajos de P extractable, y que la fuente de P no incide en la disponibilidad del elemento en estas condiciones de suelo.

Tabla 6: Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de soja de grupo de madurez 3 largo y soja de grupo de madurez 4 corto de la campaña 2013/2014.Table 6: Yield ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) of soybean of 3 long maturity group and soybean of 4 short maturity group of the 2013/2014 season.

Tratamientos	Soja grupo 3	Soja grupo 4
Testigo	4028 a	3430 b
Superfosfato triple	4574 a	4621 a
Polifosfato de amonio	4567 a	3985 ab
CV	19.1	13.1

En situaciones de restricciones hídricas tales como en la campaña 2013/14, el aporte de P podría mejorar la disponibilidad del elemento y favorecer el desarrollo del cultivo resultando en respuestas significativas en el rendimiento de

maíz (Tabla 5). Esto se condice con lo hallado por estudios anteriores que señalaron que el P juega un rol importante en proteger los cultivos de la sequía (Zheng *et al.*, 2015). En cuanto a la respuesta de soja al agregado de P se pudo observar un aumento significativo solamente en Soja de grupo de madurez 4 corto para la fuente SPT y no para APP. De acuerdo a Rubio *et al.* (2007) los umbrales críticos para este cultivo están entre 9 y 13 ppm de P Bray-Kurtz 1 y los valores de P extractable con Bray-Kurtz 1 en estas parcelas estaban por encima de estos valores.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que el método de Olsen fue más sensible para la detección de fracciones lábiles de P ya que respondió más al agregado de la fuente líquida del elemento (APP). Sin embargo, se encontró una relación lineal positiva y muy significativa entre los datos obtenidos por el método de Bray-Kurtz I y el de Olsen. Las diferencias entre una fuente líquida y sólida en ambientes con presencia de Calcio libre no se pudo constatar. Sin embargo, estos resultados son muy preliminares, y es necesario profundizar los estudios de las condiciones de disponibilidad de fósforo en la región semiárida central.

BIBLIOGRAFÍA

Alamgir M. & P. Marschner. 2013. Short-term effects of application of different rates of inorganic P and residue P on soil P pools and wheat growth. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176: 696-702.

Álvarez C., A. Becker, M. Grumelli, H. Schiavo, R. Bagnato, A. Quiroga & E. Noellemeyer. 2015. Estudio morfoedológico de una catena representativa del noroeste de la provincia de La Pampa. *En: II Jornadas Nacionales de Suelos de Ambientes Semiáridos.* pp. 2-4.

Buschiazzo D.E., G.G. Hevia, E.N. Hepper, A. Urioste, A.A. Bono & F. Babinec. 2001. Organic C, N and P in size fractions of virgin and cultivated soils of the semi-arid pampa of Argentina. *J. Arid Environ.* 48: 501-508.

Daly K., D. Styles, S. Lalor & D.P. Wall. 2015.

Phosphorus sorption, supply potential and availability in soils with contrasting parent material and soil chemical properties. *Eur. J. Soil Sci.* 66: 792-801.

- Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada & C. Robledo. 2013. Infostat - Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fernández López C. & R. Mendoza. 2008. Evaluación del fósforo disponible mediante tres métodos en distintos suelos y manejos productivos. *Ciencia del suelo* 26: 13-27.
- Kumhálová J., F. Kumhála, M. Kroulík & S. Matějková. 2011. The impact of topography on soil properties and yield and the effects of weather conditions. *Precis. Agric.* 12: 813-830.
- Lombi E., M.J. McLaughlin, C. Johnston, R.D. Armstrong & R.E. Holloway. 2004. Mobility and Lability of Phosphorus from Granular and Fluid Monoammonium Phosphate Differs in a Calcareous Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 682-689.
- Lombi E., M.J. McLaughlin, C. Johnston, R.D. Armstrong & R.E. Holloway. 2005. Mobility, solubility and lability of fluid and granular forms of P fertiliser in calcareous and non-calcareous soils under laboratory conditions. *Plant Soil* 269: 25-34.
- Mason S., A. McNeill, M.J. McLaughlin & H. Zhang. 2010. Prediction of wheat response to an application of phosphorus under field conditions using diffusive gradients in thin-films (DGT) and extraction methods. *Plant Soil* 337: 243-258.
- McBeath T.M., R.J. Smernik, E. Lombi & M.J. McLaughlin. 2006. Hydrolysis of Pyrophosphate in a Highly Calcareous Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 856.
- McBeath T.M., M.J. McLaughlin, R.D. Armstrong, M. Bell, M.D. Bolland, M.K. Conyers, R.E. Holloway & S.D. Mason. 2007. Predicting the response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to liquid and granular phosphorus fertilisers in Australian soils. *Aust. J. Soil Res.* 45: 448.
- McLaughlin M.J., T.M. McBeath, R. Smernik, S.P. Stacey, B. Ajiboye & C. Guppy. 2011. The chemical nature of P accumulation in agri-

- cultural soils-implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. *Plant Soil* 349: 69-87.
- Rubio G., M.C. Cabello & F. Gutiérrez Boehm. 2007. ¿Cuanto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? II. Cálculos para las zonas Sur y Norte de la Región Pampeana. *Inf. Agronómicas Hisp.* 35.
- Schoenau J.J. 2006. Chapter 8: Sodium Bicarbonate-Extractable Phosphorus. *In: Soil Sampling and Methods of Analysis* (M.R. Carter & E.G Gregorich Eds.). Canadian Society of Soil Science.
- Suñer L.G. & J.A. Galantini. 2013. Dinámica de las formas del P en suelos de la Región Sudoeste Pampeana. *Ciencia del Suelo* 31: 33-44.
- Zheng H.F., L.D.Chen, X.Y. Yu, X.F. Zhao, Y. Ma, & Z.B. Ren. 2015. Phosphorus control as an effective strategy to adapt soybean to drought at the reproductive stage: evidence from field experiments across northeast China. *Soil Use Manag.* 31: 19-28.