

CONDICIONANTES DE LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN SUELOS BAJO SIEMBRA DIRECTA DEL SUDOESTE BONAERENSE

FERNANDO MANUEL LÓPEZ^{1*}; MATIAS DUVAL²; JUAN MANUEL MARTÍNEZ¹;
LUCIANO GABBARINI³; JUAN GALANTINI⁴

Recibido: 26/9/2018
Recibido con revisiones: 6/2/2019
Aceptado: 18/2/2019

RESUMEN

El objetivo fue analizar factores que pueden afectar la disponibilidad de P para cultivos invernales en suelos bajo siembra directa del sudoeste bonaerense. El P extraíble, la actividad de microorganismos y de la enzima fosfatasa ácida presentaron una gran estratificación en todos los sitios y años, lo que podría afectar la disponibilidad de P. En subsuperficie se observaron limitantes en la porosidad de aireación en todos los sitios, que afectaría la accesibilidad al P. Estos factores pueden explicar la alta respuesta a la fertilización fosfórica en suelos bajo SD que presentan valores de Pe por encima de los niveles de suficiencia.

Palabras clave: P extraíble; Estratificación; Fertilización.

FACTORS DETERMINING PHOSPHORUS AVAILABILITY IN SOILS UNDER NO TILLAGE IN SOUTHWEST OF BUENOS AIRES

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze factors that would affect P availability for winter crops in soils under no tillage (SD) of the southwestern portion of Buenos Aires province –Argentina–. Extractable P, microbial activity and acid phosphatase activity presented a great stratification in all evaluated sites and years, which could affect P availability. Also, in 10-20 cm there were limitations in aeration porosity, which could affect the crop accessibility to soil P. These factors would explain the high response to phosphoric fertilization in soils under SD where P values were above sufficiency levels.

Key words: Extractable P; Stratification; Fertilization.

INTRODUCCION

El fósforo (P) es un nutriente crítico para la producción de alimentos y uno de los elementos que más comúnmente limitan la productividad primaria (Faucon *et al.*, 2015). En ambientes semiáridos, la deficiencia de P puede afectar negativamente el crecimiento de los cultivos, su rendimiento y la eficiencia de uso del agua. Estas deficiencias pueden ser causadas por un bajo contenido de P del suelo o por una baja disponi-

bilidad del mismo. En el sudoeste de la provincia de Buenos Aires -Argentina- (SOB) en particular, la baja disponibilidad de P ya ha sido documentada (Ron & Loewy, 1990). En esta región, en los últimos años ha ocurrido una gran expansión de la siembra directa (SD), asociada a cambios en el uso del suelo. A partir de estos cambios también se afectó la dinámica de nutrientes, por lo que es necesario conocer aquellos factores que afectan el ciclado del P y condicionan su disponibilidad para los cultivos. La respuesta a la fertilización fosfó-

1 CERZOS-CONICET-Universidad Nacional del Sur

2 Departamento de Agronomía - Universidad Nacional del Sur

3 Laboratorio de Biología de Suelos, Universidad Nacional de Quilmes

4 Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)

* Autor de contacto: fmlopez@criba.edu.ar

rica en suelos donde el análisis de Pe demuestra suficiencia estaría evidenciando la existencia de otros factores que afectan su disponibilidad (Ron, 2012). El objetivo de este trabajo fue analizar diferentes factores que pueden afectar la disponibilidad de P para los cultivos en suelos del SOB con historia bajo SD.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó durante los años 2013, 2014 y 2015, en tres sitios con más de 12 años bajo SD en el SOB, ubicados en cercanías de las localidades de Tornquist (TOR), Saldungaray (SAL) y Las Oscuras (LOS). Los suelos se correspondían con un Argiudol típico en el caso de TOR y Paleustoles petrocálcicos en SAL y LOS. En cuanto a la textura SAL y TOR son suelos de textura franca mientras que en LOS es franco arenosa. Para el estudio se seleccionaron lotes que se destinarían a la siembra de cereales de invierno con cultivo de trigo como antecesor, manejo comúnmente utilizado en suelos bajo SD del SOB (López *et al.*, 2015).

En cada sitio, en tres lugares distanciados unos 10 m, se tomaron tres muestras de suelo verticales 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. De estas tres muestras, una permaneció intacta para las determinaciones físicas y las otras fueron desagregadas para el resto de las determinaciones. Las muestras fueron tomadas durante los meses de mayo y junio, antes de la siembra de los cultivos invernales. En estos sitios la fertilización fosfórica se realiza con la sembradora de siembra directa, por debajo de la semilla, a una profundidad entre 3 y 10 cm.

Para el análisis de la disponibilidad de P se determinó el P extraíble (Pe) por el método de Bray & Kurtz I (1945) modificado. Se pesaron 2,5 g de suelo tamizado (2 mm), se agregó el extractante (relación suelo-extractante 1:8) en tubos de centrifuga y se agitó por 5 minutos en posición horizontal en agitador mecánico. La reacción se cortó mediante el centrifugado de la muestra, se realizó colorimetría de una alícuota del sobrenadante y se realizó la lectura en espectrofotómetro a 882 nm. Para la evaluación de fertilidad física del sue-

lo se analizó la distribución del espacio poroso a partir de la curva de retención hídrica (Klute, 1986), utilizando la clasificación propuesta por Kay y VandenBygaart (2002). La actividad de microorganismos heterótrofos se evaluó mediante la medición de la respiración (RESP) 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, el resultado se expresó como mg C-CO₂ 100 g suelo⁻¹ día⁻¹. El pH en las muestras de suelo fue cercano a 6,5 para todos los sitios evaluados, por lo que solo se analizó la actividad de la enzima fosfatasa ácida (APA). Sobre las muestras de suelo recolectadas en el año 2015 se determinó la APA con el método descrito por German *et al.* (2011), utilizando MUB-fosfato (Sigma-Aldrich Co. Ltd) como sustrato.

Los datos en las tablas y figuras se presentaron como medias y las diferencias fueron evaluadas mediante el 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 sin transformar. Para la comparación de medias se utilizó el test de diferencias mínimas significativas de Fisher ($\alpha=0,05$). Cuando se detectó interacción se efectuó la comparación para cada profundidad y sitio por separado. También se realizó el análisis de correlación de Pearson y regresiones simples para evaluar el grado de asociación entre variables. Para la comparación de pendientes de rectas de regresión se realizó el análisis de covarianza (ANCOVA). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013) salvo el ANCOVA que se realizó con un software provisto por el Lic. Ricardo Camina (Departamento de Matemática, Universidad Nacional del Sur).

RESULTADOS Y DISCUSION

El Pe en 0-20 cm demostró importantes variaciones entre años y sitios ($p<0,05$). Debido a que se observó interacción sitio*año ($p<0,01$) se procedió a analizar cada sitio por separado (**Tabla 1**). Los valores se encuentran en los rangos citados

Tabla 1. Fósforo extraíble (Pe, Bray & Kurtz I modificado, mg kg⁻¹) según profundidad de muestreo durante los años 2013, 2014 y 2015 y distribución por tamaño de poro (v/v), en cada sitio: Las Oscuras (LOS), Saldungaray (SAL) y Tornquist (TOR).

Table 1. Extractable phosphorus (Pe, Bray & Kurtz I modified, mg kg⁻¹) according to sampling depth during 2013, 2014 and 2015 and pore size distribution (v/v), in each site: Las Oscuras (LOS), Saldungaray (SAL) y Tornquist (TOR).

Sitio	Prof.	Pe (mg kg ⁻¹)			Distribución por tamaño de poro (v/v)			
		2013	2014	2015	PT	MP	mP	μP
LOS	0-5	38,1 a	30,9 a	34,1 a	0,530	0,235	0,196	0,100
	5-10	23,6 b	6,7 b	12,5 b	0,441	0,147	0,193	0,101
	10-15	7,0 c	2,8 c	5,9 c	0,427	0,126	0,175	0,126
	15-20	5,7 c	1,7 d	3,5 d	0,422	0,093	0,190	0,139
	0-20	18,8	13,0	16,0	0,455	0,150	0,188	0,116
	5-20	12,1	4,0	7,3	0,430	0,122	0,186	0,122
SAL	0-5	55,8 a	75,9 a	42,2 a	0,553	0,190	0,233	0,130
	5-10	15,6 b	48,2 b	22,2 b	0,554	0,179	0,221	0,154
	10-15	2,8 c	22,4 c	11,5 c	0,493	0,129	0,189	0,175
	15-20	1,7 c	6,0 d	4,4 d	0,470	0,095	0,180	0,196
	0-20	17,4	38,5	14,1	0,517	0,148	0,206	0,163
	5-20	6,7	25,5	12,7	0,506	0,134	0,197	0,175
TOR	0-5	42,8 a	46,8 a	37,7 a	0,489	0,139	0,177	0,173
	5-10	22,9 b	11,7 b	19,0 b	0,461	0,103	0,164	0,193
	10-15	4,0 c	1,9 c	6,3 c	0,434	0,056	0,166	0,213
	15-20	2,4 c	0,6 d	4,3 c	0,444	0,045	0,185	0,213
	0-20	16,4	21,7	16,9	0,457	0,086	0,173	0,198
	5-20	9,8	4,7	9,9	0,446	0,068	0,172	0,206

Letras diferentes para cada sitio y año demuestran diferencias entre profundidades ($p < 0,05$).

PT: porosidad total; MP: macroporos ($> 30 \mu\text{m}$); mP: mesoporos ($30-0,2 \mu\text{m}$); μP : microporos ($< 0,2 \mu\text{m}$).

para la zona semiárida, salvo los sitios SAL y TOR en el año 2014, que presentaron valores altos de Pe, superiores a 20 mg kg^{-1} . Sin embargo, ya se han documentado valores similares en Haplustoles de la región semiárida pampeana argentina.

En la región del SOB no existen trabajos que evalúen el nivel de suficiencia de Pe para cultivos invernales bajo SD. Según los resultados obtenidos por Ron y Loewy (1990) para trigo bajo labranza en el SOB y lo establecido por Bono y Romano (2012), estos suelos presentarían baja probabilidad de respuesta a la fertilización, debido a la concentración de Pe superior a $10,5 \text{ mg kg}^{-1}$ 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 (*comunica-*

ción personal). Es necesario considerar que estos suelos se encuentran bajo SD hace más de 12 años y que los niveles de suficiencia del análisis de Pe se han establecido en suelos bajo labranza. Debido al posible encubrimiento de la estratificación en el muestreo de 0-20 cm, se procedió a evaluar la estratificación del Pe para las diferentes situaciones (**Tabla 1**).

En todos los sitios y años se observaron disminuciones significativas del Pe con la profundidad, siendo $0-5 > 5-10 > 10-15 \geq 15-20 \text{ cm}$ ($p < 0,05$) y no se observaron relaciones significativas entre el Pe en 0-5 y las demás capas de suelo. Al igual que lo encontrado por otros autores, en subsuperficie las concentraciones de Pe en la mayoría de los casos fueron muy bajas. Esta estratificación se debe mayormente a la acumu-

lación de residuos en superficie y a una disminución de su concentración en capas subsuperficiales. Además, la aplicación de fertilizantes a escasa profundidad aumenta la estratificación (Covacevich *et al.*, 2008) y en ambientes con escasa humedad, la baja movilidad del P se reduce aún más por el déficit de agua en el suelo que reduce la difusión (Kang *et al.*, 2014). Respecto a la alta concentración de Pe en 0-5 cm, es necesario tener en cuenta que, dada la susceptibilidad a la erosión de los suelos de la región, podría ocurrir una importante pérdida de P del sistema por erosión hídrica o eólica, más aun teniendo en cuenta la baja cobertura del suelo lograda bajo SD en estos sistemas (López *et al.*, 2015).

Según Covacevich *et al.* (2008) y Deubel *et al.* (2011), en regiones semiáridas, la baja concentración de Pe en capas subsuperficiales, que permanecen húmedas más tiempo, podría tener un impacto negativo en el suministro de P a las plantas. Del mismo modo, Kruger (1996) ya ha establecido que la excesiva estratificación perjudicaría la nutrición de los cultivos en la región semiárida pampeana. En el presente estudio, la concentración de Pe en 5-20 cm fue inferior al nivel de suficiencia ($10,5 \text{ mg kg}^{-1}$, Ron & Loewy, 1990) en el 67% de los casos. 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, la estratificación afectaría más severamente la disponibilidad de P para los cultivos. En regiones húmedas varios autores recomiendan utilizar en suelos bajo SD los mismos valores críticos establecidos para labranza convencional. Sin embargo, a partir de la importante estratificación observada y las altas respuestas a la fertilización en suelos con buena disponibilidad de P en 0-20 cm en la región de estudio, serían necesarios cambios en las metodologías de evaluación de la disponibilidad de P.

La RESP y APA también presentaron importantes variaciones entre años y sitios ($p < 0,01$). Dado que se observó interacción sitio*año se presentan los resultados para cada año y sitio por separado (**Figura 1**). Dilustro *et al.* (2005) ya han reportado importantes cambios en la actividad de microorganismos heterótrofos en áreas

geográficas pequeñas, asociados a la variación de la textura del suelo. Del mismo modo, Galantini *et al.* (2004) ya ha establecido que la composición granulométrica tendría un importante efecto en la actividad de microorganismos en suelos de pastizales de áreas semiáridas.

Al igual que el Pe, la RESP y la APA presentaron importantes variaciones con la profundidad (**Figura 1**), con una marcada estratificación. Sin embargo, en todos los sitios evaluados, la estratificación de la APA fue de menor magnitud en comparación con RESP. En el caso de RESP, entre el 46 y 73% se concentró en los 5 cm superiores mientras que en el caso de la APA fue entre el 28 y 39%. Respecto a la estratificación de la APA en los diferentes sitios, a través del ANCOVA se logró determinar que las rectas son paralelas ($p < 0,05$) por lo que la estratificación sería independiente de la granulometría de los suelos.

Respecto a las propiedades físicas del suelo, coincidiendo con López *et al.* (2016), los tres sitios presentaron baja proporción de MP ($< 0,15 \text{ v/v}$) en subsuperficie (10-20 cm) y un aumento de los poros de menor tamaño (**Tabla 1**). Estas 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 MO del suelo (López *et al.*, 2016). Sin embargo, la baja proporción de poros de mayor tamaño podría afectar la accesibilidad de los cultivos al P edáfico 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 2 mm, 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 presentan una importante estratificación del Pe, RESP y

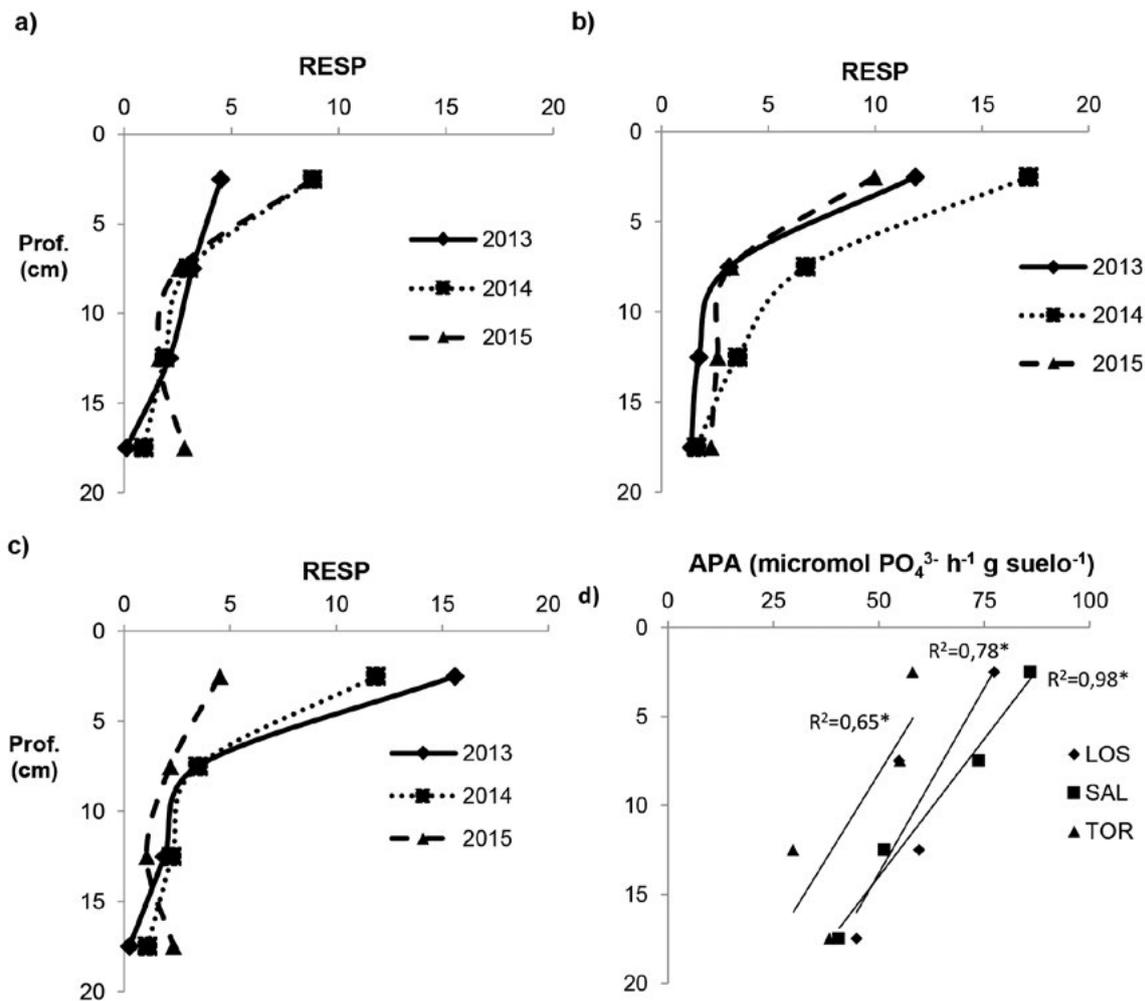


Figura 1. Actividad microbiana (RESP, mg CO₂ 100 g suelo⁻¹ día⁻¹) según profundidad, para cada sitio y año: a) Las Oscuras; b) Saldungaray; c) Tornquist. d) Actividad de la enzima fosfatasa ácida (APA) en el año 2015 según profundidad, para cada sitio: Las Oscuras (LOS), Saldungaray (SAL) y Tornquist (TOR).

*: regresión significativa ($p < 0,05$)

Figure 1. Microbial activity (RESP, mg CO₂ 100 g soil⁻¹ day⁻¹) according to depth, per site and year: a) Las Oscuras; b) Saldungaray; c) Tornquist. d) Acid phosphatase enzyme activity (APA) during 2015 per depth, for each site: Las Oscuras (LOS), Saldungaray (SAL) y Tornquist (TOR).

APA, que puede afectar la disponibilidad de P para los cultivos. Además, la fertilidad física de los suelos evaluados, con baja proporción de poros de mayor tamaño en capas subsuperficiales (10-20 cm), también condiciona la accesibilidad de los cultivos al P edáfico. Estos factores ayudan a 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, 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 es necesaria una mirada sistémica teniendo en cuenta varias propiedades edáficas como la estratificación, el componente orgánico de los suelos y la fertilidad física.

BIBLIOGRAFÍA

Bono, A & N Romano. 2012. Fósforo. En: Quiroga, A & A Bono (Eds.). 2012. Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos. Ediciones INTA - EEA INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas", pp 106-114.

- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59, 39-45.
- 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.
- Deubel, A; B Hofmann & D Orzessek. 2011. Long-term effects of tillage on stratification and plant availability of phosphate and potassium in a loess chernozem. *Soil & Tillage Research* 117, 85–92
- 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>
- Dilustro, JJ; B Collins; L Duncan & C Crawford. 2005. Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. *For. Ecol. Manage.* 204, 87–97.
- Faucon, M; D Houben; JP Reynoird; AM Mercadal-Dulaurent; R Armand & H Lambers. 2015. Advances and Perspectives to Improve the Phosphorus Availability in Cropping Systems for Agroecological Phosphorus Management. *Advances in Agronomy* 134, 51-79.
- Galantini, JA; N Senesi & G Brunetti. 2004. Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid Pampean grassland soils of Argentina. *Geoderma* 123, 143–152.
- German DP; Weintraub MN & Grandy AS. 2011. Optimization of hydrolytic and oxidative enzyme methods for ecosystem studies. *Soil Biol Biochem* 43, 7-1397.
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82, 121–145.
- 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, BD & VandenBygaart, AJ. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil Till. Res.* 66, 107–118.
- 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.
- 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.
- López, FM; ME Duval; JM Martínez & J Galantini. 2016. Porosidad de suelos bajo Siembra Directa en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 34 (2), 173-184.
- 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.
- 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.