

# Fósforo extractable en un suelo Haplustol éntico del área semiárida central de Córdoba, Argentina. Comparación de dos métodos de evaluación

Bachmeier, O. A. y A. A. Rollán

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue seleccionar el extractante químico que mejor caracterice el tenor de fósforo disponible en un suelo del área central de la Provincia de Córdoba, Argentina. Además se evaluó la relación existente entre fósforo extractable y pH, materia orgánica y profundidad de muestreo, así como la influencia del sistema de labranza sobre los resultados analíticos.

Se tomaron muestras de un suelo Haplustol éntico Serie Oncativo, ubicado en la E.E.A. INTA Manfredi, correspondiente a un lote afectado a un ensayo de labranzas en combinación con rotación de cultivos. Las muestras fueron extraídas de tres profundidades: 0-5, 5-20 y 20-40 cm. Para la cuantificación del fósforo extractable se utilizaron el método de Olsen (P-Olsen) y el de Bray y Kurtz N° 1 (P-Bray), realizándose paralelamente determinaciones de pH, por potenciometría, y materia orgánica, por el método de Walkley y Black, para el total de muestras. Los métodos de Olsen y Bray y Kurtz N° 1 son adecuados para evaluar los niveles de P-extractable en los suelos Haplustoles énticos del área central de la Provincia de Córdoba. Sin embargo, debido a su mayor repetibilidad y sensibilidad analítica, el método de Bray y Kurtz N° 1 es más apto para ese fin. Este método responde con mayor sensibilidad que el método de Olsen ante cambios en el pH y contenido en materia orgánica de las muestras estudiadas. Ambas técnicas analíticas correlacionan estrechamente las variaciones en el contenido de fósforo relacionadas con la profundidad, y sus resultados son independientes del sistema de labranza empleado.

**Palabras clave:** fósforo extractable, métodos analíticos, propiedades químicas, Haplustol éntico.

Bachmeier, O. A. and A. A. Rollán, 1994. Extractable phosphorus in an Entic Haplustoll soil of the semiarid central area of Córdoba, Argentina. Comparison of two measuring methods. Agriscientia XI : 23-28.

## SUMMARY

The aim of this work was to select the extracting solution that better characterize the extractable phosphorus (PE) in a soil of the central area of Córdoba (Argentina). Extractable phosphorus, soil pH, organic matter and sampling depths relations were also established.

Soil samples were taken at 0-5, 5-20 and 20-40 cm depth in an Entic Haplustol

soil located in the E.E.A. INTA Manfredi (Córdoba, Argentina). The studied plots were under a cropping sequence and tillage practices essay. Extractable phosphorus was quantified using the Olsen method (P-Olsen) and the Bray and Kurtz Nº 1 method (P-Bray). Soil pH was measured potentiometrically and organic matter was evaluated by the Walkley & Black method

Both methods (P-Olsen and P-Bray) are suitable to evaluate PE in the Entic Haplustoll soils of the central area of Córdoba. However, we recommend P-Bray for its best repeatability and analytical sensibility. P-Bray is more sensible to changes in pH and organic matter contents. Extractable P analyzed by both methods is highly correlated with sampling depth and the measures are independent of the tillage system.

**Key words:** extractable phosphorus, analytical methods, chemical properties, Entic Haplustoll soils.

*O.A. Bachmeier y A.A. Rollán, Departamento de Recursos Naturales. Fac. Cs. Agropecuarias, U.N.C., C.C. 509, 5000 Córdoba, Argentina.*

## INTRODUCCIÓN

Por su importancia biológica y la complejidad de su ciclo en el suelo, el fósforo es uno de los macronutrientes más estudiados en el mundo. Son varios los mecanismos de naturaleza físico-química y biológica que rigen la dinámica del fósforo edáfico (Avellaneda, M., 1980). Numerosas investigaciones (Black, C., 1968) han demostrado que el contenido de fósforo disponible de los suelos es función, en gran medida, de su estado evolutivo, así como de su mineralogía y granulometría.

Los suelos Molisoles de escaso desarrollo del centro de la Provincia de Córdoba poseen en su perfil un rango de pH desde ligeramente ácido, en superficie, hasta moderadamente alcalino, en profundidad (Jar-sun *et al.*, 1987). Debido a que los distintos métodos analíticos empleados para cuantificar el fósforo extractable poseen definidos condicionamientos edáficos para su empleo (Avellaneda, M., 1980), surge el interrogante de cuál de ellos resultaría más apto para la evaluación de la disponibilidad del nutriente en esta situación, información que no registra antecedentes en nuestra provincia.

Núñez Vázquez y Salas (1986) señalan que, a medida que la textura se hace más gruesa, el nivel de fósforo disponible disminuye. Loewy y Puricelli (1982), así como Lemos *et al.* (1983) hallaron correlación entre el contenido de fósforo disponible, espesor del horizonte superficial y su contenido de materia orgánica, ya que, tal como lo señala Black (1968) el carbono orgánico y el clima dominante determinarán la tasa del fósforo orgánico que anualmente pasará a fósforo mineral.

Por otro lado las diversas formas de fósforo varían en relación al pH; Karim y Khan (1965) verificaron que las formas P-Al y P-Fe predominan con pH 5 a 6, disminuyendo por encima de ese valor. Trabajos de Shachtschabel y Hernemann, citados por Black (1968), muestran que las concentraciones de P-Ca aumentan substancialmente conforme aumenta el pH de la solución de suelo, en tanto decrece la solubilidad del P-Fe. De la misma manera, Núñez Vázquez y Salas (1986) demostraron que en los suelos salinos alcalinos el valor de P extractable es menor.

Es importante tener en cuenta que los extractantes químicos utilizados en las diversas técnicas para dosar el fósforo extractable informan sobre el factor intensidad (P-solución) y parcialmente sobre el factor cantidad (P-matriz), cuya solubilización será directamente proporcional a la energía del extractor utilizado (Bahia Filho, A., 1974; Peaslee, D., 1978). Esta energía depende de la composición del extractante, la que, a su vez, determina su pH y el tipo de interacción extractante-matriz de suelo.

Entre las diversas técnicas existentes para la determinación del fósforo extractable, la de Bray y Kurtz Nº 1 (Bray y Kurtz, 1945), se halla ampliamente difundida para el diagnóstico de la fertilización fosforada en suelos neutros a ligeramente ácidos (Vázquez *et al.*, 1987). Otra técnica es la de Olsen (Olsen *et al.*, 1954), la cual, de acuerdo a Williams y Cooke (1962) y Olsen y Sommers (1982), es capaz de cuantificar adecuadamente la cantidad de fósforo en suelos calcáreos, alcalinos y neutros.

Dado que ambos métodos consideran la neutralidad del suelo en su espectro de aplicación, se planteó la hipótesis de que uno de ellos sería suficientemente adecuado para la medición de fósforo

**Tabla 1.** Características analíticas del suelo Haplustol éntico Serie Oncativo a las profundidades estudiadas.

Variables analíticas	Profundidad (cm)		
	0-5	5-20	20-40
Materia Orgánica (%)	1,9	1,8	1,2
pH actual	6,2	6,3	7,2
CaCO <sub>3</sub> (%)	0,0	0,5	2,3
Cationes Intercambiables:			
(me/100 g)			
Ca <sup>2+</sup>	12,5	13,1	-
Mg <sup>2+</sup>	2,3	2,5	-
Na <sup>+</sup>	0,3	0,2	0,2
K <sup>+</sup>	2,1	2,0	1,8

extractable en el *solum* de los Molisoles del centro de la Provincia de Córdoba. En base a ello, los objetivos de este trabajo fueron:

- Seleccionar el extractante que mejor caracterice la forma disponible de fósforo en un suelo Haplustol éntico Serie Oncativo.
- Establecer la relación entre el tenor de fósforo detectado por cada método y materia orgánica, pH y profundidad de muestreo.
- Determinar si los cambios edáficos introducidos por sistemas de labranza contrastantes afectan los resultados obtenidos por los métodos comparados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Tipo de suelo y muestreo:** Haplustol éntico Serie Oncativo, perfil modal: Ap, AC, Cca, ubicado en la E.E.A. INTA Manfredi, Provincia de Córdoba, República Argentina.

Las parcelas empleadas para la experiencia (de tres ha cada una) se hallaban afectadas a un ensayo demostrativo en donde se combinaban dos sistemas de labranzas: Tradicional (T) y Conservacionista (C), con una rotación de cultivos en la cual intervenían cuatro especies estivales: Soja (*Glycine max* L. Merr.), Maní (*Arachis hipogaea* L.), Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y Maíz (*Zea mays* L.).

De cada parcela individual se tomaron muestras compuestas por diez sub-muestras, trabajándose en tres profundidades: 0-5, 5-20 y 20-40 cm. Las características analíticas promedio del suelo, a dichas profundidades, se detallan en la Tabla 1. El mues-

treo se efectuó en pre-siembra y pos-cosecha de las campañas 1987/88 y 1988/89.

**Determinaciones analíticas:** Las mediciones fueron realizadas por triplicado, evaluándose: a) Fósforo extractable: por el método de Olsen (Olsen *et al.*, 1954) y por el método de Bray y Kurtz N° 1 (Bray y Kurtz, 1945); b) pH por potenciometría, relación suelo: agua 1:1; y c) Materia Orgánica por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982).

**Análisis estadístico:** Las pruebas de normalidad, homogeneidad de variancia y análisis de la variancia de las variables medidas se realizaron con Systat (Wilkinson, L., 1990). Para las regresiones lineares se usó el módulo MGLH de este mismo paquete estadístico. Las correlaciones entre variables se establecieron mediante coeficientes de Pearson.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cotejando los datos obtenidos (Tabla 2) por el método de Olsen (P-Olsen) y por el método de Bray (P-Bray) con los niveles críticos propios de cada técnica (Tabla 3), es posible observar que en las profundidades de 0-5 cm y 5-20 cm los niveles de P-extractable se hallan en el rango de contenidos calificados como "Altos". En la profundidad de 20-40 cm el tenor de P-extractable puede ser calificado como "Medio a Adecuado". Se presentan sólo los datos de la campaña 1987/88, ya que los de 1988/89 no difieren estadísticamente de aquellos.

La calificación enunciada en el párrafo precedente es válida para ambos métodos de extracción, debiendo hacerse la salvedad de que los datos de P-Bray correspondientes a 20-40 cm de profundidad podrían estar subvaluados, debido al contenido en calcáreo del horizonte en cuestión (Tabla 1). Olsen y Sommers (1982) atribuyen este hecho a una rápida neutralización del extractante por el CaCO<sub>3</sub> presente en la muestra analizada.

Se observa en la Tabla 2 que los valores de P-Olsen presentan mayores desviaciones estándar que los correspondientes a P-Bray, lo que indica que esta última técnica brinda mayor repetibilidad en los valores de P-extractable. El mismo comportamiento fue detectado por Echeverría *et al.* (1991) en Molisoles de la provincia de Buenos Aires, y podría obedecer a dos causas: a la mayor sensibilidad del método de Olsen a la presencia de interferencias iónicas, y a la dificultad de clarificar totalmente los extractos en algunos tipos de suelo (Olsen y Sommers, 1982).

Los datos de P-Olsen y P-Bray se correlacionaron significativamente al nivel de  $P < 0,001$  respondiendo a la relación lineal:  $P\text{-Olsen} = 2,11 + 0,59 P\text{-Bray}$  ( $R = 0,84$ ;  $N = 288$ ).

Cuando los datos se agruparon de acuerdo al sistema de labranza del cual provenían las muestras, los ajustes fueron igualmente buenos ( $0,78 < R < 0,91$ ),

**Tabla 2.** Fósforo extractable (mg P. Kg<sup>-1</sup>), evaluado según los métodos de Olsen (P-Olsen) y Bray y Kurtz Nº 1 (P-Bray), para los sistemas de labranza conservacionista (C) y tradicional (T), en las tres profundidades estudiadas, en pre-siembra y pos-cosecha de la campaña 1987/88.

Labr	Cultivo	Prof.	Pre-siembra				Pos-cosecha			
			P-Olsen	$\sigma_{(n)}$	P-Bray	$\sigma_{(n)}$	P-Olsen	$\sigma_{(n)}$	P-Bray	$\sigma_{(n)}$
C	Maíz	1	27,4	1,6	35,5	0,2	25,8	2,1	36,4	0,5
C		2	30,8	0,6	32,4	0,1	22,9	1,8	32,0	0,2
C		3	10,5	1,7	13,5	0,1	9,3	2,0	11,1	0,6
C	Soja	1	41,3	1,8	38,7	0,4	20,0	1,7	19,5	0,3
C		2	28,3	0,2	35,6	0,6	12,0	1,2	20,6	0,4
C		3	9,7	0,4	12,1	0,2	6,0	0,8	8,2	0,2
C	Sorgo	1	22,2	1,6	34,2	0,2	19,5	1,5	27,9	0,3
C		2	24,6	1,5	30,3	0,3	14,0	1,7	20,0	0,4
C		3	8,3	0,5	13,0	0,6	7,7	0,8	8,7	0,4
T	Maíz	1	34,2	0,4	43,8	0,5	24,9	1,2	36,3	0,2
T		2	39,5	1,7	39,9	0,1	26,1	1,1	34,6	0,2
T		3	12,8	0,4	16,6	0,3	10,0	2,0	7,5	0,3
T	Soja	1	28,3	1,5	36,1	0,2	26,9	1,4	39,1	0,5
T		2	31,4	1,7	34,3	0,2	19,0	1,1	29,2	0,4
T		3	11,6	0,7	16,4	0,4	11,3	2,1	12,5	0,8
T	Sorgo	1	22,5	1,4	35,6	0,8	19,8	1,1	31,2	0,5
T		2	36,9	1,7	35,9	0,1	19,0	0,5	29,2	0,2
T		3	7,6	0,8	14,2	0,3	9,0	1,3	12,1	0,4
T	Maíz	1	29,7	1,0	35,3	0,3	23,7	1,2	37,1	0,2
T		2	32,5	0,9	36,0	0,2	19,9	1,3	30,7	0,3
T		3	11,2	1,1	13,7	0,4	13,3	0,8	15,9	0,1
T	Soja	1	24,8	1,6	35,0	0,3	22,3	0,9	34,0	0,3
T		2	35,9	1,6	35,5	0,2	20,8	1,1	30,7	0,4
T		3	12,9	0,6	11,9	0,4	12,1	0,8	14,0	0,1

$\sigma_{(n)}$ : Desviación Estándar.

Prof. 1, 2 y 3: 0-5, 5-20 y 20-40 cm de profundidad, respectivamente.

sin diferencias estadísticamente significativas en las ordenadas al origen y pendientes obtenidas. Echeverría *et al.* (1991) tampoco observaron cambios en el ajuste por efecto del manejo reciente del suelo.

Sin embargo, es necesario destacar que, en todos los análisis de regresión realizados, el Error Estándar de la ordenada al origen es elevado ( $S_a = 1,23$ ), indicando un importante grado de indefinición en este parámetro, lo que guarda relación con la mayor variabilidad de las medidas obtenidas por P-Olsen. Por ello es posible afirmar que, en el suelo estudiado, no es factible hacer la conversión P-Olsen a P-Bray, o viceversa, sin un apreciable grado de incerteza. Este

hallazgo difiere de lo señalado por Barberis (1976), Vázquez *et al.* (1987) y Echeverría *et al.* (1991), quienes sugieren que las ecuaciones de regresión obtenidas permiten la libre conversión de los valores cuantificados por uno u otro método, aunque en sus trabajos no presentan el grado de error de los parámetros de ajuste.

En lo que se refiere a la pendiente del modelo de regresión, ésta se definió claramente, con un bajo Error Estándar ( $S_b < 0,04$ ), a la vez que mostró una alta significación estadística en su determinación ( $P < 0,001$ ). Además, es posible señalar que P-Bray presentó una mayor sensibilidad analítica en la evaluación del P-ex-

**Tabla 3.** Niveles críticos de fósforo detectados por los métodos de Bray y Kurtz N° 1 y Olsen

Reactivo	Masa de suelo	Volumen de solución	Tiempo de agitación	Niveles críticos (mg P. Kg <sup>-1</sup> )
NH <sub>4</sub> F 0,03 N en HCl 0,025 N, pH 2,5 (Bray y Kurtz, 1945)	2,5 g	20 ml	5 min.	< 3: muy bajo, 3-7: bajo, 7-20: medio, > 20: alto
NaHCO <sub>3</sub> 0,5 N pH = 8,5 (Olsen <i>et al.</i> , 1954)	5,0 g	100 ml	30 min.	< 5: bajo, 5-10: medio, 10-15: adecuado, > 15: alto.

tractable (cambios en 1 mg.Kg<sup>-1</sup> en P-Bray representaron cambios de 0,6 mg.Kg<sup>-1</sup> en P-Olsen).

En la Tabla 4 se halla resumida la matriz de correlación entre ambos métodos extractivos frente a pH, materia orgánica y profundidad de muestreo. El análisis indicado se realizó sin discriminar los sistemas de labranza y luego agrupando los datos en función de los mismos. Se observa que los valores de R no responden a la influencia del sistema de cultivo actual, tal como fue comentado al analizar las ecuaciones de regresión, indicando la independencia de ambos métodos de medición, ante eventuales cambios edáficos inducidos por el manejo aplicado.

Coincidentemente con Loewy y Puricelli (1982), Lemos *et al.* (1983) y Núñez Vázquez y Salas (1986), se hallaron correlaciones altamente significativas entre P-extractable por ambos métodos y materia orgánica, confirmando la estrecha relación entre el ciclo del fósforo y el del carbono orgánico del suelo (Black, C., 1968). Se podría conjeturar que si las correlaciones se estableciesen *versus* fracciones de la materia orgánica total, la distinta energía de los extractantes permitiría determinar asociaciones diferenciales para cada método (Bahia Filho, A, 1974).

Los coeficientes de correlación entre P-extractable y pH también fueron altamente significativos ( $P < 0,001$ ); presentaron valores más elevados que los citados por Núñez y Vázquez y Salas (1986) y se hallaron en el mismo orden de magnitud que los determinados por Echeverría *et al.* (1991). La relación lineal P-extractable versus pH permitió establecer las siguientes ecuaciones, para el rango  $6,8 < \text{pH} < 7,5$ :

$$\text{P-Olsen} = 128,6 - 17,2 \text{ pH} \\ (R = 0,68; P < 0,001; N = 288)$$

$$\text{P-Bray} = 204,2 - 27,6 \text{ pH} \\ (R = 0,76; P < 0,001; N=288)$$

La diferencia entre los valores de las pendientes (significativa al nivel de  $P < 0,001$ ) constituye un índice de la mayor sensibilidad de P-Bray a los cambios en la reacción del suelo (Karim y Khan, 1965)

Por último, cabe mencionar la estrecha correlación entre la profundidad de muestreo y el P-extractable por ambos métodos (Tabla 4), lo cual indicaría que la zona estudiada corresponde a la de mayores cambios en contenido de fósforo, en sentido vertical

**Tabla 4.** Coeficientes de Correlación entre los niveles de fósforo extractable detectados por ambos métodos (Olsen y Bray y Kurtz N° 1) y pH, Materia Orgánica y profundidad de muestreo

	pH	Materia orgánica	Profundidad de muestreo
Labranza C+T			
P-Olsen	-0,68***	0,77***	-0,72***
P-Bray	-0,76***	0,82***	-0,79***
Labranza C			
P-Olsen	-0,61***	0,80***	-0,73***
P-Bray	-0,71***	0,87***	-0,79***
Labranza T:			
P-Olsen	-0,75***	0,75***	-0,72***
P-Bray	-0,82***	0,77***	-0,80***

\*\*\* Significativo al nivel de  $P < 0,001$ , según coeficientes de correlación de Pearson (Wilkinson, 1990).

Si bien la tendencia general de las correlaciones planteadas es similar para los dos métodos, es necesario destacar que los valores de R son siempre mayores para P-Bray, indicando su mayor dependencia ante los cambios en las variables edáficas estudiadas.

Una etapa más avanzada de los estudios sobre el fósforo edáfico en la región central de Córdoba debería tender a establecer el modelo predictivo de rendimientos de los cultivos en función de la disponibilidad del nutriente, así como su nivel crítico para distintas especies.

## CONCLUSIONES

Los métodos de Olsen y Bray y Kurtz N° 1 son adecuados para evaluar los niveles de P-extractables en los suelos Haplustoles énticos del área central de la Provincia de Córdoba. Sin embargo, debido a su mayor repetibilidad y sensibilidad analítica, el método de Bray y Kurtz N° 1 es el más apto para los suelos citados.

En las condiciones edáficas analizadas el P-extractable se halla estrechamente ligado al tenor de materia orgánica y a la reacción del suelo, siendo el método de Bray y Kurtz N° 1 el más sensible a los cambios en esas variables.

Por otra parte, los resultados analíticos obtenidos por los métodos contrastados no son afectados por los sistemas de laboreo del suelo considerados en esta experiencia.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Provincia de Córdoba (CONICOR), por el apoyo económico brindado a través de los PID N° 1026/88 y N° 1237/89, y también a los Ings. Agrs. Antonio Aoki y Napoleón Buteler por la asistencia técnica durante el desarrollo de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Avellaneda, M.O., 1980. Fósforo disponible en el suelo: su evaluación. IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Actas: 123-159.
- Bahia Filho, A.F.C., 1974. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais: intensidade, capacidade, capacidade tampao e quantidade de fósforo disponível e crescimento vegetal. Visçosa. UFV, 69 p. (Tesis de Magister Scientiae).
- Barberis, L.A., M. Conti de Martínez y L. Giuffrè, 1976. Comparación de métodos químicos de medida de fósforo disponible y su relación con las formas del fósforo del suelo. IDIA, Supl. 33:69-74.
- Black, C.A., 1968. Soil-plant relationships. John Wiley & Sons Inc., N.Y., 792 pp.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:39-45.
- Echeverría, N., T. Grossi y M. Commegna. 1991. Comportamiento de dos técnicas de determinación del P-disponible en suelos del partido de Villarino (Provincia de Buenos Aires). Ciencia del Suelo. 9(1-2):69-76.
- Jarsun, B., H. Bosnero y E. Lovera, 1987. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3163-32, Oncativo. Plan Mapa de Suelos, INTA-SMAGR. Córdoba, República Argentina, 82 pp.
- Karim, A. and D.H. Khan, 1965. Relationship between pH and different forms of phosphorous in some soils of east Pakistan. Soil Sci. 80:229-233.
- Lemos, E.A., E.S. Oyarzabal y M.L. Galleto, 1983. Muestreo de suelos y su relación con el fósforo asimilable y el relieve. INTA, E.E.A. Pergamino, Rep. Argentina. Carpeta de Producción Vegetal. T.5 Informe N° 41.6 pp.
- Loewy, T. y C.A. Puricelli, 1982. Disponibilidad de fósforo en suelos del área de la E.E.A. Bordenave (Bs. As.). INTA, E.E.A. Bordenave. Informe Técnico N° 28. 16 pp.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Methods of Soil Analysis. Ed. A.L. Page, Agronomy Vol. 9 (Part 2). pp 539-579. Am. Soc. Agron., Soil Sci. Soc. Am., Crop Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Núñez Vázquez, F. y H.P. Salas, 1986. Evaluación de niveles de disponibilidad de fósforo en la región central de Córdoba. Rev. Agron. Manfr. 2(2):34-39.
- Olsen, S.R., C.W. Cole, F. Watanabe and L.A. Dean, 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. Agric. Circ. 939.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommers, 1982. Phosphorus. In: Methods of Soil Analysis. Ed. A. L. Page. Agronomy Vol. 9 (Part 2). pp. 403-430. Am. Soc. Agron., Soil Sci. Soc. Am., Crop Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Peaslee, D.E., 1978. Relationships between relative crop yields, soil test phosphorus levels, and fertilizer requirements for phosphorus. Soil Sci. Plant Anal. 9:429-442.
- Vázquez, M.F., E. Noellemeyer, A. Struffolino, L.G. López Camelo y L.A. Barberis, 1987. Métodos de medición del fósforo extractable en suelos del norte y oeste de la pradera pampeana. Su evaluación biológica. Ciencia del Suelo. 5(1):19-30.
- Wilkinson, L., 1990. SYSTAT: The system for statistics. SYSTAT, Inc., Evanston, IL. 718 pp.
- Williams, R.J. and G.M. Cooke, 1962. Measuring soluble phosphorus in soils. Comparison of methods and interpretation of results. J. Agr. Sci. 59:275-280.