

COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO EXTRAÍBLE EN SUELOS DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA

MICAELA PEREZ¹; LUCIANA DUNNEL GUERRA²; ROMINA STORNILOLO²;
JUAN VANZOLINI²; NANCI KLOSTER^{1*}

Recibido: 11/10/2018

Recibido con revisiones: 30/11/2018

Aceptado: 7/12/2018

RESUMEN

Dos métodos ampliamente utilizados para la determinación de fósforo (P) en suelos son Bray Kurtz 1 (B&K) y Olsen. La normativa argentina (IRAM-SAGyP) para el análisis de P extraíble en suelos con fines de diagnóstico agropecuario define que B&K es aplicable a muestras de suelos levemente ácidos, no calcáreos y no alofánicos, mientras que Olsen es aplicable a muestras de todo tipo de suelos. En suelos de la región semiárida pampeana históricamente se realizó la extracción de P mediante B&K, y aun en la actualidad se emplea este método, aunque su utilización generalizada en todos los suelos es motivo de debate. El objetivo de este trabajo fue evaluar la relación del contenido de P extraíble empleando B&K y Olsen en diferentes suelos de la región semiárida pampeana. Las muestras se clasificaron considerando su valor de pH, reacción al test Fieldes Perrott y calcáreo. En todos los casos se observó diferencia significativa entre los métodos B&K y Olsen. Si bien se observó una relación lineal significativa entre ambos métodos, los coeficientes de determinación calculados estuvieron en el rango 0,12 a 0,79. En base a los resultados obtenidos no se recomienda el uso de ecuaciones de regresión para estimar los resultados de P alcanzados por Olsen a partir de los resultados conseguidos por B&K, en los suelos bajo estudio. Más bien, el método de extracción de P debería definirse en función del método de diagnóstico empleado en la recomendación para fertilizar. En aquellos casos donde no se indique el método de diagnóstico, la normativa nacional definirá el método de extracción de P a utilizar de acuerdo al pH del suelo, reacción al test Fieldes Perrott y calcáreo.

Palabras clave: Bray Kurtz 1, Olsen, pH del suelo, test Fieldes Perrott y calcáreo.

EVALUATION OF METHODS FOR DETERMINING SOIL PHOSPHORUS EXTRACTABLE IN THE SEMIARID PAMPEAN REGION

ABSTRACT

Two widely used methods for soil phosphorus (P) determination are Bray Kurtz 1 (B&K) and Olsen. Argentine regulations (IRAM-SAGyP) for the analysis of extractable P in soils for agricultural diagnostic purposes define that B&K is suitable in slightly acid, non-calcareous and non allophanic soils, while Olsen is best suited for all soils. In the semi-arid pampean region, P extraction was historically carried out by means of B&K, and even today, this test is used, although its generalized use in all soils is under discussion. The objective of this study was to evaluate the relationship of extractable P using B&K and Olsen in different soils of the semi-arid pampean region. The samples were classified considering their pH value, Fieldes Perrott test reaction and calcareous. In all cases, a significant difference was observed between extractable P determined by B&K and Olsen. A significant linear relationship was observed between both P tests methods; although the coefficients of determination (R^2) ranged from 0,12 to 0,79. Based on the results obtained, the use of regression equations was not recommended to convert the results of P from one soil test method to the other in the region under study. Therefore, the P test method to use should be defined based on the diagnostic method used for fertilization recommendation. In those cases where the method of diagnosis is not indicated, the national regulation will define the P extraction method to be used according to the pH of the soil, Fieldes Perrott test reaction and calcareous.

Key words: Bray Kurtz 1, Olsen, soil pH, Fieldes Perrott test and calcareous.

1 INTA. Centro Regional La Pampa – San Luis. EEA Anguil. Ruta Nac. N° 5 Km 580, Anguil (6326), La Pampa.

2 INTA, Centro Regional Buenos Aires Sur. EEA Hilario Ascasubi. Ruta 3 Km 794, Hilario Ascasubi (8142), Buenos Aires

* Autor de contacto: kloster.nanci@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) es un nutriente de baja solubilidad y movilidad en los suelos, que frecuentemente se encuentra por debajo del nivel necesario para el crecimiento vegetal y puede ser repuesto mediante fertilización. El método de diagnóstico para determinar la necesidad de aplicar un fertilizante fosforado se basa en el análisis de P extraíble en el horizonte superficial del suelo (0-20cm) (Bono & Romano, 2012). Para ello se utilizan soluciones extractantes que remueven del suelo una cierta cantidad del elemento considerada asimilable por las plantas (López & Mendoza, 2008). Se han desarrollado varias soluciones que extraen cantidades variables de P, dependiendo del extractante usado (Kuo, 1996). Los extractantes pueden ser clasificados en: agua o soluciones salinas diluidas (ejemplo CaCl_2); soluciones de ácidos débiles (lactato, acetato) con/sin agentes complejantes (Fluoruro o EDTA); soluciones de ácidos fuertes (HCl) con/sin agentes complejantes (Fluoruro o EDTA); soluciones alcalinas bufferizadas (NaHCO_3); resinas de intercambio aniónico o papel de filtro impregnado con óxido de hierro.

A nivel internacional dos métodos ampliamente utilizados son Bray Kurtz 1 (B&K) y Olsen (Saunders *et al.*, 1987; Kleinman *et al.*, 2001; Zamuner *et al.*, 2015; Wuenscher *et al.*, 2015). Las diferencias entre métodos están asociadas a los mecanismos de extracción de P de las soluciones empleadas. La solución de extracción propuesta en B&K contiene fluoruro de amonio y ácido clorhídrico a pH 2,6. El ion fluoruro promueve la desorción de P por disminución de la actividad del aluminio a través de la formación de complejos aluminio-fluoruro. Además, el fluoruro suprime la re-adsorción de P solubilizado a las partículas coloidales. Este método no es recomendable para suelos calcáreos debido a que el carbonato neutraliza el pH ácido de la solución de extracción, y el calcio forma fluoruro de calcio que reacciona con P y lo precipita. Por otra parte, la solución de extracción propuesta en Olsen contiene bicarbonato de sodio a pH 8,5. Los iones hidroxilo y carbonato en la solución de extracción disminuyen la concentración de calcio y aluminio en solución, aumentando la solubilidad del P en el suelo. En suelos calcáreos esta solución au-

menta la solubilidad del fosfato de calcio debido a la disminución de la concentración de calcio por precipitación como carbonato de calcio. En suelos neutros o ácidos, la solubilidad de los fosfatos de aluminio y hierro aumenta debido a que los iones hidroxilos disminuyen la concentración de aluminio por formación del complejo aluminato y de hierro por precipitación como óxido (Kuo, 1996).

En Argentina, la norma IRAM-SAGyP 29570, propone el método B&K y el método Olsen para la determinación de P extraíble en suelos. La norma define que B&K es aplicable a muestras de suelos levemente ácidos, no calcáreos y no alofánicos mientras que Olsen es aplicable a muestras de todo tipo de suelos. Se definen como suelos calcáreos aquellos que tienen una fracción mássica de carbonato de calcio mayor que 2%. Los suelos alofánicos son suelos con características ándicas, con importante cantidad de componentes no cristalinos en su composición mineral tales como alófano e imogolitas. Estos suelos pueden identificarse mediante el test Fieldes Perrott (FP) (Fieldes & Perrott, 1966), basado en el cambio de color de la fenolftaleína debido a un aumento del pH cuando el alófano reacciona con una solución acuosa de fluoruro y se reemplazan iones oxhidrilo por fluoruro en el mineral. El test no es selectivo para alófano, dado que también arroja resultados positivos en presencia de carbonato de calcio u otros materiales con grupos aluminato activos (Al(OH)_x), tal como illitas, gibsititas y caolinitas (Brydon & Day, 1970; Rapp & Franco, 1996), e incluso en suelos con pH alcalino ($\text{pH} > 8$). La adopción de métodos normalizados en los laboratorios de análisis de suelos ha permitido conocer y disminuir los resultados erróneos, potencialmente conducentes a problemáticas de contaminación ambiental y/o deterioro del recurso suelo, así como también potenciales riesgos económicos. Esto, sumado a la participación en programas interlaboratorio ha permitido realizar un diagnóstico periódico de la calidad de los resultados de los laboratorios (PROINSA, 2018).

A pesar de los importantes avances a nivel nacional en materia de normalización de métodos y evaluación de la calidad de los resultados emitidos por los laboratorios de análisis agropecuarios, el método de extracción a utilizar para la deter-

minación de P sigue siendo motivo de debate. En las diferentes regiones de Argentina, los métodos de diagnóstico y recomendaciones de fertilización han sido definidos en base a un dado método de extracción de P (Fernández López & Mendoza, 2008; Zamuner *et al.*, 2015). La solución de extracción Olsen resultó ser la más apropiada para uso en suelos rojos de Misiones, suelos con cultivo de arroz inundado y producciones hortícolas intensivas (Vazquez, 2005). El método B&K fue utilizado en la década del '70 para el análisis de P en el marco del plan mapa de suelos de la región pampeana (Darwich, 1983). Desde entonces ha sido el método de extracción más difundido para determinar la disponibilidad de P en esta región (Fagioli & Bono, 1984; Montoya *et al.*, 1999; Galantini *et al.*, 2005; Romano & Roberto, 2007; García *et al.*, 2007; Bono & Romano, 2012). De acuerdo a estudios publicados por Hepper *et al.* (2006) e Iturri & Buschiazzo (2014) los suelos de la región semiárida pampeana no contienen cantidades significativas de material alofánico, aun cuando son enriquecidos por cenizas volcánicas. Más bien predominan minerales de tipo illitas y esmectitas en las partículas de tamaño arcilla y limo. Sin embargo, es conocido que los suelos de la región semiárida pampeana presentan un amplio rango de pH (5,2 a >8,5) con suelos levemente ácidos a muy alcalinos (Romano & Roberto, 2007). Por lo tanto B&K no sería aplicable a todos los suelos de la región semiárida pampeana, considerando el alcance definido en la norma IRAM-SAGyP 29570. Estudios recientes sobre fraccionamiento de P en suelos de la planicie con tosca han basado su estimación del P disponible empleando Olsen (Alvarez *et al.*, 2017).

En líneas generales Olsen extrae menos P que B&K (Shuman *et al.*, 1988; Sims, 2000; Zamuner *et al.*, 2015; Wuenschel *et al.*, 2015), excepto en suelos con alta capacidad reguladora (Vazquez, 2005) y para algunos suelos agrícolas donde se ha observado lo contrario (Kleinman *et al.*, 2001; Zalba *et al.*, 2002; Zalba & Galantini, 2007; Vanzolini *et al.*, 2017). La asociación lineal y significativa entre ambos métodos agronómicos de extracción de P del suelo ha sido publicada por varios autores (Mallarino, 2003; Ketterings & Flock, 2005; Ige *et al.*, 2006; Zalba

& Galantini, 2007; Zamuner *et al.*, 2015), por lo que ha sido frecuente la utilización de modelos de regresión lineal para predecir la cantidad de P extraído con un método a partir del valor de otro método. Sin embargo, para suelos de la región semiárida pampeana, con pH >7 y posible presencia de calcáreo, la utilización de dichas regresiones es cuestionable. Si bien hay trabajos que proponen la aplicación de una ecuación de regresión lineal para la conversión de resultados de un método a otro (Echeverría *et al.*, 1991), para otros autores esta opción no es recomendada (Zamuner *et al.*, 2015).

La implementación de Sistemas de Gestión de Calidad permite asegurar la competencia técnica de los laboratorios (Compañó Beltrán & Ríos Castro, 2002). En Argentina, la norma IRAM ISO/IEC 17025 establece los requisitos generales que debe cumplir un laboratorio que trabaja bajo un sistema de gestión de calidad. Entre otros requisitos, señala que el laboratorio debe utilizar métodos de ensayo que satisfagan las necesidades del cliente, adoptando preferentemente los métodos publicados como normas. A partir de lo mencionado, es frecuente que los laboratorios se encuentren ante la necesidad de definir el método de análisis a emplear, ya sea en función del método de diagnóstico de fertilización o bien de acuerdo a los parámetros de aplicación definidos en el alcance de la normativa nacional para el análisis de suelos agronómicos. La decisión se resuelve de manera frecuente en la interacción interdisciplinaria en el ámbito del laboratorio agrícola, donde se prioriza la satisfacción del cliente. Se plantea como objetivo de este trabajo evaluar la relación del contenido de P extraíble, empleando los métodos B&K y Olsen, y los parámetros pH del suelo, presencia de calcáreo y reacción al test FP. A partir del estudio se espera obtener información que permita definir directrices respecto del método más apropiado para la determinación de P extraíble en suelos de la región semiárida pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de suelo

Se utilizaron 278 muestras de suelo extraídas a una profundidad de 20 cm, procedentes

del noreste de la provincia de La Pampa (n=143) y del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (n=135) (**Figura 1**). Los suelos de La Pampa se clasificaron como Haplustol Entico y Ustipsament Típico (USDA, 1999) y fueron analizados en el Laboratorio de Suelo y Agua del INTA EEA Anguil. Los suelos correspondientes al sudoeste bonaerense, fueron clasificados como Haplustoles Típicos, Calciustoles y en menor grado Ustipsament Típicos y Natrargides Típicos, siendo analizados en el Laboratorio de Suelo y Agua del INTA EEA Hilaro Ascasubi. Todas las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm previo a su análisis. En la **Tabla 1** se resumen algunas características edáficas de las muestras analizadas.

Determinación de pH, presencia de calcáreo y test FP

La determinación de pH se realizó en una relación suelo:agua 1:2,5. Para ello se pesaron 10 g de suelo en balanza de precisión y se añadieron con dispensador 25 mL de agua. Se agitó la suspensión con varilla de vidrio, se dejó en reposo durante una hora y se volvió a agitar. Se dejó en reposo durante otra hora, se agitó y se midió el pH en la suspensión. La presencia de calcáreo se determinó por reacción positiva en la masa del suelo (efervescencia) al añadir gota a gota una solución de ácido clorhídrico 1:5 (v/v). El test FP se realizó en una suspensión 1:1 de suelo y solución de fluoruro de sodio 1 mol L⁻¹. Se agregaron gotas de solución alcohólica de fenolftaleína 1 g L⁻¹ y a los 2 min se observó el color del sobrenadante. La reacción se consideró positiva por el desarrollo de

color rosado violáceo correspondiente al viraje de color del indicador fenolftaleína.

Determinación de P extraíble

La determinación de P B&K se realizó según IRAM-SAGyP 29570-1. Para ello se utilizó una solución de extracción de ácido clorhídrico 0,025 mol L⁻¹ y fluoruro de amonio 0,03 mol L⁻¹ regulada a pH 2,6 ± 0,1. La extracción se realizó en relación suelo: solución 1:7, agitando durante 5 minutos. La determinación de P Olsen se realizó de acuerdo a IRAM-SAGyP 29570-2, empleando una solución de bicarbonato de sodio 0,5 mol L⁻¹ regulada a pH 8,5 ± 0,1. La extracción se realizó en una relación suelo:solución 1:20, agitando durante 30 min. En ambos casos se utilizaron tubos de centrifuga de 50 mL con tapa a rosca para realizar la extracción, los cuales se ubicaron en posición horizontal en el sentido del vaivén del agitador. La agitación se realizó a 180 golpes por minuto. El P en los extractos procedentes de uno y otro método se cuantificó por colorimetría (Murphy & Riley, 1962) en base a los lineamientos indicados en las normas mencionadas, utilizando dos espectrofotómetros, Metrolab 1600 plus y Perkin Elmer Lambda 35.

Análisis estadístico

Se utilizó el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2015) para el análisis de resultados. La media, el desvío y los valores mínimos y máximos fueron utilizados para la descripción estadística de los resultados de los métodos de extracción. La

Tabla 1. Clasificación, materia orgánica, pH y cantidad de muestras de suelo utilizadas en el estudio.

Table 1. Soil classification, organic matter, pH and number of soil samples studied.

Región	Orden	Grupo	Materia orgánica (%) [*]	pH [*]	Nº muestras
Noreste de La Pampa	Molisol	Haplustol	2,2 (1,3 - 4,5)	6,7 (5,8 - 8,1)	126
	Entisol	Ustipsament	1,0 (0,8 - 1,2)	7,0 (6,1 - 9,3)	17
	Molisol	Haplustol	1,4 (0,7 - 4,5)	7,9 (5,9 - 9,3)	93
	Aridisol	Calciortid	1,7 (0,8 - 3,0)	7,7 (7,0 - 8,2)	13
Sudoeste de Buenos Aires	Aridisol	Haplargid	1,7 (0,7 - 3,5)	7,9 (7,4 - 8,6)	12
	Aridisol	Natrargid	2,2 (1,0 - 4,3)	8,0 (7,2 - 9,2)	14
	Aridisol	Paleorgid	6,7 (3,2 - 10,6)	8,3 (8,0 - 8,6)	2

^{*} Valor medio y rango

comparación de medias entre métodos se realizó utilizando la prueba t para muestras por parejas. Además, se evaluó la regresión lineal entre métodos a partir del coeficiente de determinación (R^2) y se contrastó una ordenada en el origen significativamente diferente de cero y una pendiente significativamente diferente de 1 a partir de los límites de confianza (Miller & Miller, 1993). En todos los casos el nivel de significancia utilizado fue del 5% ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de los métodos de extracción de P se realizó en un amplio rango de concentraciones de este elemento. Un rango más amplio de P extraído es una ventaja al momento de categorizar los suelos de acuerdo a su contenido de P, especialmente en métodos de diagnóstico de ru-

tina, donde los resultados son decisivos para una recomendación de fertilización (Wuenscher *et al.*, 2015). El rango de concentraciones analizado fue similar para Olsen y B&K al considerar todas las muestras (0,8-98,8 mg kg⁻¹ y 1,0-102,8 mg kg⁻¹ respectivamente) (**Tabla 2**). En la bibliografía pueden encontrarse diferentes resultados de este parámetro, siendo en algunos casos el método de Olsen el que arroja un rango de P extraíble menor (Wuenscher *et al.*, 2015; Zamuner *et al.*, 2015), mientras que en otros casos el rango es menor con B&K (Zalba & Galantini, 2007). Los resultados de P obtenidos por ambos métodos en todas las muestras estudiadas mostraron una relación lineal significativa ($R^2=0,79$, $p<0,0001$) (**Figura 2.a**). Aunque la relación entre estos métodos es menor que la obtenida para suelos del sudeste bonaerense con valores de pH en el rango 5,8-6,2 ($R^2=0,92$; $n=163$) (Zamuner *et al.*, 2015).

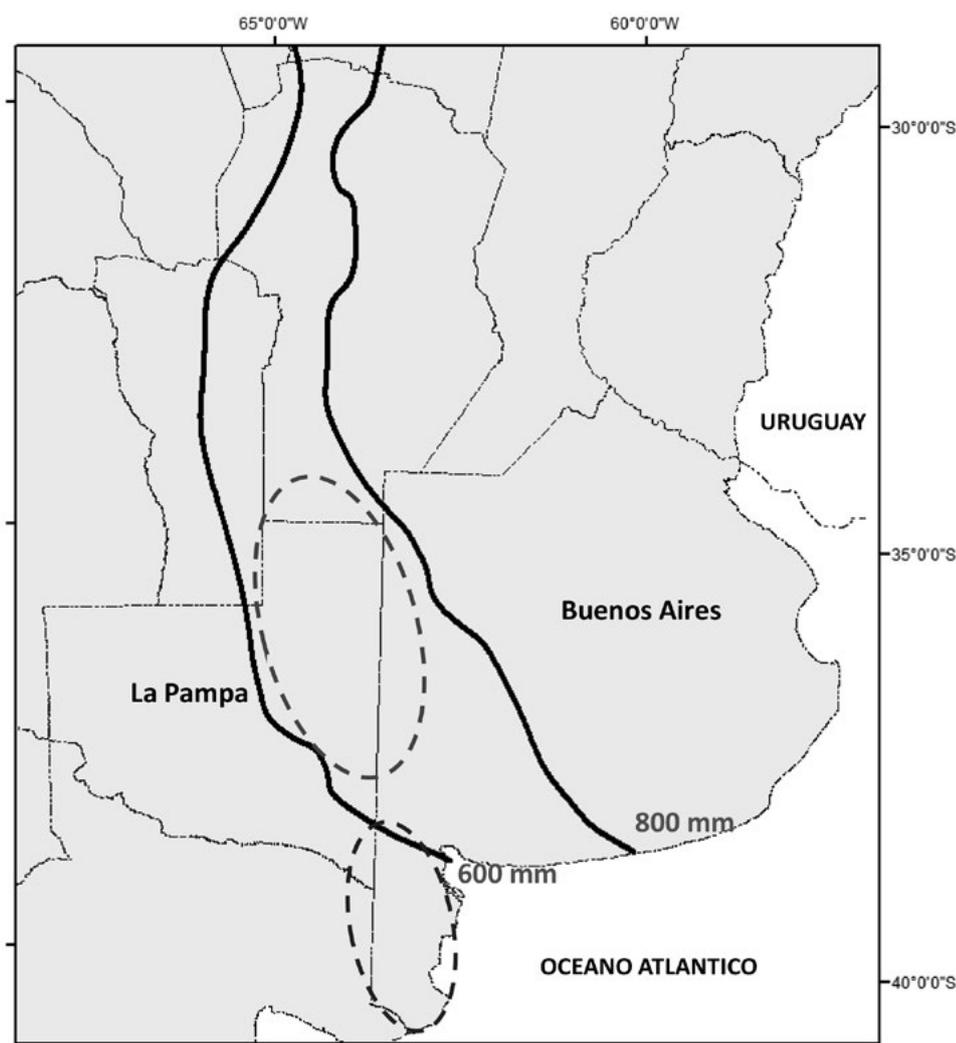


Figura 1. Mapa de la región pampeana argentina. Las líneas punteadas delimitan el área geográfica de estudio.

Figure 1. Map of the pampean region of Argentine. Dotted lines show the study area.

A partir del análisis estadístico de la regresión se determinó que la pendiente de la recta difiere significativamente de 1 ($0,78 \pm 0,05$) y la ordenada al origen difiere significativamente de 0 ($1,46 \pm 1,08$) ($\alpha=0,05$). Esto indica que los resultados obtenidos por ambos métodos de extracción no son equivalentes (Miller & Miller, 1993). Se observó una nube de puntos muy dispersos en la región de bajas concentraciones de P (B&K < 30 mg kg⁻¹) (**Figura 2 b**). Esta región de concentraciones medias a bajas de P extractable incluye los rangos de alerta como criterio para la fertilización, con umbrales críticos que varían de 15-18, 15-16 y 12-13 mg kg⁻¹ para trigo, maíz y soja, respectivamente (Sainz Rosas *et al.*, 2011; Bono & Romano, 2012). Debido a esto se optó por estudiar la relación entre métodos en mayor detalle para éstas concentraciones de P más bajas.

El rango obtenido al restringir los resultados a un valor de P B&K < 30 mg kg⁻¹, es mayor para Olsen que para B&K (0,8-37,9 mg kg⁻¹ y 1,0-30,7 mg kg⁻¹ respectivamente) (**Tabla 2**). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Vanzolini *et al.* (2017) en suelos del sudoeste bonaerense, en un rango similar de concentraciones de P. Si bien los datos presentan una relación lineal estadísticamente significativa ($p < 0,0001$), se observa una mayor dispersión de los datos obtenidos al limitar el análisis a valores de P B&K < 30 mg kg⁻¹ ($R^2=0,49$) (**Figura 2.b**). Este valor es similar al obtenido por Kleinman *et al.* (2001) ($R^2=0,59$, $n=24$) al evaluar la relación entre mé-

todos sobre suelos agrícolas de Estados Unidos en un rango de pH 5,2 a 8,6.

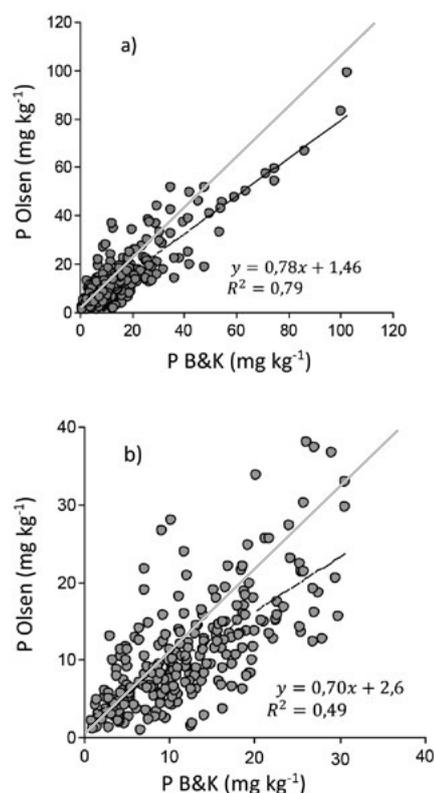


Figura 2. Relación entre métodos de extracción de fósforo en el suelo, Olsen y B&K. a) Todas las muestras ($n=278$), b) muestras con concentración de fósforo B&K < 30 mg kg⁻¹ ($n=238$). La línea gris indica la recta 1:1.

Figure 2. Relation between extraction phosphorus methods in soil, Olsen and B&K. a) All samples ($n=278$), b) samples with B&K phosphorus concentration < 30 mg kg⁻¹ ($n=238$). The grey line shows 1:1 straight.

Tabla 2. Parámetros estadísticos asociados al pH y a los métodos de extracción de fósforo del suelo en muestras clasificadas de acuerdo a su contenido de fósforo y valor de pH.

Table 2. Statistics parameters related to pH and extraction phosphorus methods in samples classified according to phosphorus content and pH value.

	pH	Todas las muestras		Muestras B&K <30		Muestras pH <7		Muestras pH >7	
		¹ B&K	² Olsen	B&K	Olsen	B&K	Olsen	B&K	Olsen
		mg kg ⁻¹							
n		278		238		112		126	
Media	7,3	17,3	15,1	12,3	10,8	13,4	10,9	11,2	9,9
Desvío	-	17,2	15,7	7,0	7,7	6,0	5,2	7,2	6,3
Mínimo	5,7	1,0	0,8	1,0	0,8	3,8	0,8	1,0	1,1
Máximo	9,9	102,8	98,8	30,7	37,9	30,7	29,6	30,7	32,8

¹ B&K, fósforo Bray Kurtz 1

² Olsen, fósforo Olsen

Clasificar las muestras en función de su valor de pH para definir el método de extracción de P a aplicar al suelo, es una práctica habitual en los laboratorios de análisis agronómicos que brindan el servicio empleando los métodos de extracción Olsen y B&K. Varios trabajos publicados también evalúan los resultados obtenidos por ambos métodos de acuerdo al valor de pH de las muestras de suelo (Zalba *et al.*, 2002; Ige *et al.*, 2006; Zalba & Galantini, 2007; Iatrou *et al.*, 2014). Al discriminar los valores de P obtenidos por ambos métodos en las muestras clasificadas de acuerdo a su valor de pH, menor o mayor a 7 (<>7), el rango de concentraciones de P obtenido fue similar (**Tabla 2**). Al clasificar las muestras de acuerdo a su valor de pH la relación lineal significativa entre ambos métodos se mantiene ($p < 0,0001$), y los datos se observan dispersos ($R^2 = 0,56$ para $pH < 7$ y $R^2 = 0,54$ para $pH > 7$) (**Figura 3**). El resultado es similar independientemente de la clasifi-

cación de muestras de acuerdo a su valor de pH, a diferencia del trabajo de Zalba *et al.* (2002) quienes hallaron una relación lineal altamente significativa ($R^2 = 0,89$) para muestras con $pH < 7,0$.

A continuación, se procedió a evaluar los resultados de P extraíble discriminando las muestras de acuerdo a su valor de pH (<>7), reacción al test FP y presencia de material calcáreo, tal como lo indica la normativa nacional (IRAM-SAGyP 29570). El valor medio de P obtenido con Olsen en general es menor que el hallado con B&K, lo cual coincide con resultados publicados en la literatura (Kleinman *et al.*, 2001; Zamuner *et al.*, 2015; Wuenscher *et al.*, 2015). Excepto para suelos con $pH > 7$ y reacción negativa al test FP, donde el contenido de P promedio determinado por Olsen es ligeramente mayor que el obtenido por B&K (**Tabla 3**). Esto último coincide con los

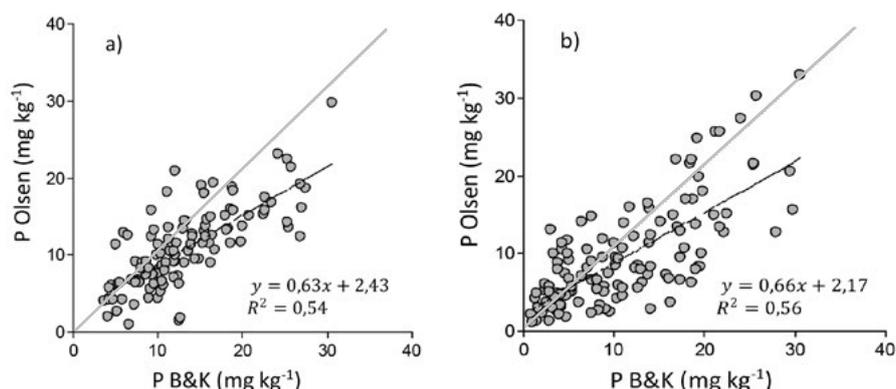


Figura 3. Relación entre métodos de extracción de fósforo en el suelo para muestras clasificadas de acuerdo a su valor de pH: a) $pH < 7$, b) $pH > 7$. La línea gris indica la recta 1:1.

Figure 3. Relation between soil phosphorus extraction methods in samples classified according to pH value: a) $pH < 7$, b) $pH > 7$. The grey line shows 1:1 straight.

Tabla 3. Parámetros estadísticos asociados a los métodos de extracción de fósforo del suelo en muestras clasificadas de acuerdo a su valor de pH y reacción positiva (+) o negativa (-) al test FP. Columna en color gris indica alcance de norma IRAM-SAGyP 29570-1.

Table 3. Statistics parameters related to extraction phosphorus methods of soil in samples classified according to pH value and with (+) or without (-) FP test reaction. Grey column shows the norm IRAM-SAGyP 29570-1 scope.

	Muestras $pH < 7$				Muestras $pH > 7$			
			Test FP				Test FP	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
	¹ B&K	² Olsen	B&K	Olsen	B&K	Olsen	B&K	Olsen
	(mg kg ⁻¹)							
n	63		48		102		25	
Media	13,2	11,0	13,5	10,4	12,4	9,9	6,1	7,5
Desvío	6,9	5,6	5,1	4,4	7,1	6,7	6,4	4,4
Mínimo	3,8	0,8	5,3	2,5	1,1	1,1	1,0	2,0
Máximo	30,7	29,6	27,6	19,1	30,7	32,8	29,9	17,8

¹ B&K, fósforo Bray Kurtz 1

² Olsen, fósforo Olsen

resultados de Zalba *et al.* (2002) y Vanzolini *et al.* (2017) para suelos de regiones semiáridas. Del total de muestras analizadas con valores de P B&K $<30 \text{ mg kg}^{-1}$ ($n=238$), sólo alrededor del 20% de las muestras ($n=48$) debería ser analizado empleando B&K de acuerdo al alcance de la norma IRAM-SAGyP 29570-1. Estas últimas corresponden en su totalidad a muestras de la región noreste de La Pampa. Las demás muestras (80%) deberían analizarse empleando Olsen de acuerdo a la normativa nacional, ya sea por su valor de $\text{pH} > 7$, por su reacción positiva al test FP, o ambos (**Tabla 3**). Estas incluyen muestras de la región noreste de La Pampa y la totalidad de las muestras del sudoeste de Buenos Aires.

Considerando las muestras con $\text{pH} < 7$ y reacción negativa al test FP (todas ellas correspondientes a la región noreste de La Pampa), la norma IRAM-SAGyP 29570 indica que los dos métodos propuestos son aptos para el análisis de P. Sin embargo, aunque los datos se encuentran relacionados linealmente, el coeficiente de determinación es bajo ($R^2=0,75$, $p<0,0001$) como para estimar los resultados de un método a partir de los resultados del otro (**Figura 4.a**). Al consi-

derar muestras con $\text{pH} < 7$ y reacción positiva al test FP se observa una relación lineal significativa y mayor dispersión de los resultados ($R^2=0,56$, $p<0,0001$) (**Figura 4.b**). Los estudios realizados en la región semiárida pampeana indican ausencia de alófanos, aun cuando algunos suelos presentan un sedimento de cenizas volcánicas (Hepper *et al.*, 2006; Iturri & Buschiazzi, 2014). En este grupo de muestras la reacción positiva al test FP puede asociarse al intercambio de grupos oxhidrilo de óxidos de aluminio o minerales arcillosos (por ejemplo illitas) por grupos fluoruro, lo que produciría un incremento del pH y provocaría el viraje de color de fenolftaleína al rosado.

Cuando se analizan los resultados de P obtenidos por ambos métodos en muestras con $\text{pH} > 7$ y reacción negativa al test FP (todas ellas correspondientes al sudoeste bonaerense) se observa también una relación lineal significativa entre los métodos ($R^2=0,45$, $p<0,001$) (**Figura 4.c**). Finalmente, para muestras con $\text{pH} > 7$ y reacción positiva al test FP, se mantiene un valor bajo del coeficiente de determinación ($R^2=0,57$, $p<0,0001$) (**Figura 4.d**). En este último caso, la reacción positiva al test FP podría ser producto

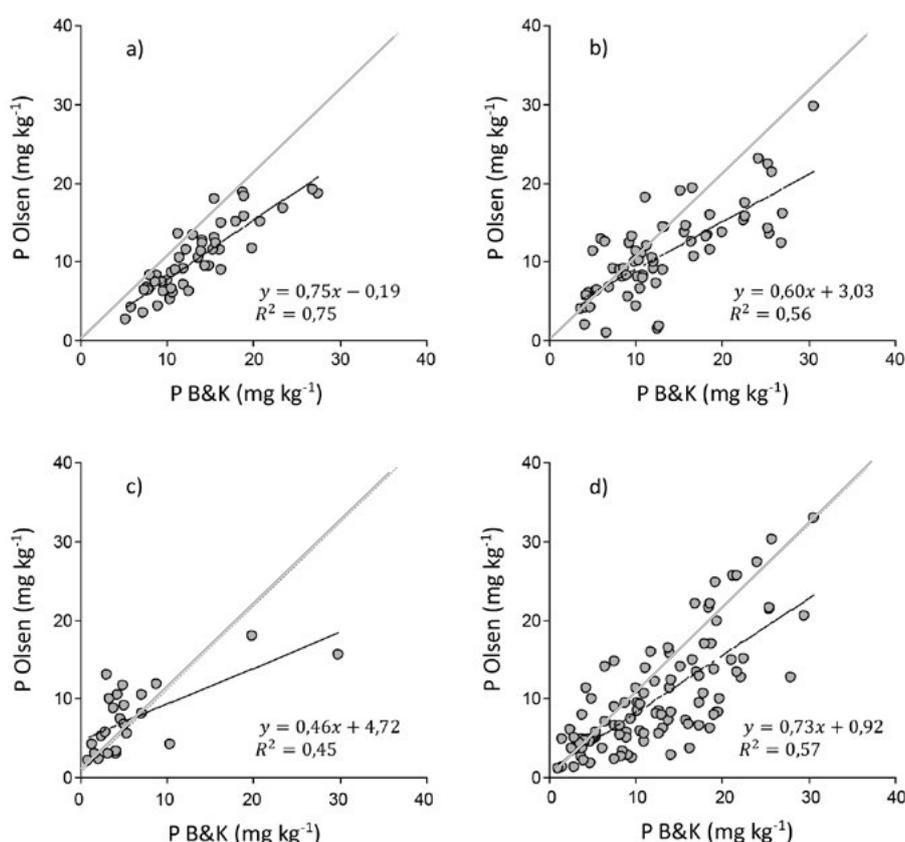


Figura 4. Relación entre métodos de extracción de fósforo para muestras clasificadas de acuerdo a su valor de pH y reacción al test FP: a) $\text{pH} < 7$, reacción negativa; b) $\text{pH} < 7$, reacción positiva; c) $\text{pH} > 7$, reacción negativa; d) $\text{pH} > 7$, reacción positiva. La línea gris indica la recta 1:1.

Figure 4. Relation between soil phosphorus extraction methods in samples classified according to pH value and FP test reaction: a) $\text{pH} < 7$, negative reaction; b) $\text{pH} < 7$, positive reaction; c) $\text{pH} > 7$, negative reaction; d) $\text{pH} > 7$, positive reaction. The grey line shows 1:1 straight.

de la presencia de carbonatos de calcio que reaccionan con el fluoruro de sodio produciendo un incremento del pH, o bien porque las muestras de suelo poseen naturalmente valores de pH alcalinos ($\text{pH} > 8$) que producen el viraje de la fenolftaleína.

Al evaluar los métodos de extracción de P en muestras con presencia de calcáreo, todas ellas con $\text{pH} > 7$, el coeficiente de determinación entre los métodos se mantuvo bajo, independientemente de la reacción al test FP ($R^2 = 0,12$; $n = 21$, reacción negativa y $R^2 = 0,54$; $n = 23$, reacción positiva).

El test t para comparación de muestras por parejas, en las muestras agrupadas de acuerdo a su concentración de P, valor de pH, reacción al test FP y presencia de calcáreo, indicó que existe diferencia significativa ($p < 0,0001$) en la cantidad de P determinada por ambos métodos. Excepto en muestras con $\text{pH} > 7$ y reacción negativa al test FP donde no hubo diferencias significativas ($p = 0,16$).

CONCLUSIONES

En suelos de la región semiárida pampeana con valores de pH menores o mayores a 7, y posible presencia de calcáreo, los datos de P extraíble obtenidos por Olsen y B&K se relacionan de forma lineal. El uso de ecuaciones de regresión para estimar los resultados de P extraíble obtenidos por un método a partir de los resultados obtenidos por otro no es recomendado, porque sus resultados no son equivalentes. El método de extracción Olsen sería el recomendado para suelos del sudoeste bonaerense, siendo que todas las muestras analizadas presentaron valores de pH por encima de la neutralidad ($\text{pH} > 7$), presencia de calcáreo o reacción positiva al test FP. Mientras que en la región noreste de La Pampa podría utilizarse B&K u Olsen. En este último caso, la normativa nacional (IRAM-SAGyP 29570) definirá el método de extracción de acuerdo a las propiedades de los suelos: pH, reacción al test FP y calcáreo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a A. Bono y R. Fernández por las observaciones al manuscrito. El trabajo se enmarca dentro del proyecto PNSUELO-1134034 INTA.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, M L; M Torroba; G Morazzo & E Noellemeyer. 2017. Distribución de fracciones de fósforo en la subregión planicie con tosca de la región semiárida central. III Jornadas Nacionales de suelos de ambientes semiáridos. Bahía Blanca. Boletín electrónico CERZOS.
- Bono, A & N Romano. 2012. Capítulo X. Fósforo. En: Quiroga, A & A Bono (Eds). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. INTA Ediciones. Anguil. Pp. 106-114.
- Brydon, J E & H Day. 1970. Use of the Fieldes and Perrott sodium fluoride test to distinguish the B horizons of Podzols in the field. Can. J. Soil Sci. 50:35-41.
- Compañó Beltrán, R & A Ríos Castro. 2002. Garantía de Calidad en los laboratorios analíticos. Síntesis.
- Darwich, N A. 1983. Niveles de fósforo asimilable en los suelos pampeanos. IDIA enero-abril: 1-5.
- Di Rienzo, J A; F Casanoves; M G Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & C W Robledo. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Echeverría, N; T Grossi & M Commegna. 1991. Comportamiento de dos técnicas de determinación del P-disponible en suelos del partido de Villarino. Ciencia del Suelo 9(1-2):69-76.
- Fagioli, M & A Bono. 1984. Disponibilidad de fósforo asimilable y métodos de muestreo del suelo en las regiones semiárida y subhúmeda pampeanas. Ediciones INTA. Anguil.
- Fernández López, C & R Mendoza. 2008. Evaluación del fósforo disponible mediante tres métodos en distintos suelos y manejos productivos. Ciencia del Suelo 26(1):13-27.
- Fieldes, M & KW Perrot. 1966. Rapid field and laboratory test for allophane. New Zealand J. of Science 9:623-629.
- Galantini, J A; L Suñer & H Kruger. 2005. Dinámica de las formas de P en un Haplustol Entico de la Región Semiárida Pampeana durante 13 años de trigo continuo. RIA 34(2):13-31.
- García, F O; L I Picone & A Berardo. 2007. Fósforo. En: Echeverría, H E & F O García (Eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 99-121.
- Hepper, E N; D E Buschiazzi; G G Hevia; A Urioste & L Antón. 2006. Clay mineralogy, cation exchange capacity and specific surface area of loess soils with different volcanic ash contents. Geoderma 135:216-223.
- Iatrou, M; A Papadopoulos; F Papadopoulos; O Dichala; P Psoma & A Bountla. 2014. Determination of soil available phosphorus using the Olsen and Mehlich 3 methods for Greek soils having variable amounts of calcium carbonate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45:2207-2214.

- Ige, D V; O O Akinremi; D Flaten & M A Kashem. 2006. Comparison of soil test phosphorus methods in neutral to calcareous Manitoba soils. *Canadian Journal of Soil Science* 691-699.
- Iturri, L A & D E Buschiazzo. 2014. Cation exchange capacity and mineralogy of loess soils with different amounts of volcanic ashes. *Catena* 121:81-87.
- Ketterings, Q M & M Flock. 2005. Comparison of Bray-1 and Mehlich-3 tests in high phosphorus soils. *Soil Science* 170(3):212-219.
- Kleinman, P J A; A N Sharpley; K Gartley; W M Jarrell; S Kuo; R G Menon; R Myers; K R Reddy & E O Skogley. 2001. Interlaboratory comparison of soil phosphorus extracted by various soil test methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32(15&16):2325-2345.
- Kuo, S. 1996. Phosphorus. In: Sparks, D L (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3 Chemical Methods*. Madison: Soil Sci. Soc. Am. J. pp. 869-919.
- López, C F & R Mendoza. 2008. Evaluación del fósforo disponible mediante tres métodos en distintos suelos y manejos productivos. *Ciencia del Suelo* 26(1):13-27.
- Mallarino, A P. 2003. Field calibration for corn of the Mehlich-3 soil phosphorus test with colorimetric and inductively coupled plasma emission spectroscopy determination methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1928-1934.
- Miller, J C & J N Miller. 1993. *Estadística para química analítica*. 2da Edición. Addison Wesley Iberoamerican. 211 pp.
- Montoya J C; A A Bono; A Suarez; N A Darwich & F Babinec. 1999. Cambios en el contenido de fósforo asimilable en suelos del este de la provincia de La Pampa, Argentina. *Ciencia del Suelo* 17(1):45-48.
- Murphy, J & J P Riley. 1962. A modified single method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36.
- PROINSA, 2018. Programa de Interlaboratorios para suelos agropecuarios. <https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/proinsa/index.php>
- Fecha de último acceso: 12 03 2018.
- Rapp, M E & J L Franco. 1996. Modificación del método de Fieldes y Perrott para la determinación cualitativa de alofános. *Anales de la Asociación Química Argentina* 84(5):499-503.
- Romano, N & Z Roberto. 2007. Contenido de fósforo extractable, pH y materia orgánica en los suelos del este de la provincia de La Pampa. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 3:1-6.
- Sainz Rosas, H; H Echeverría & H Angelini. 2011. Fósforo extractable en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana de Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 4:14-18.
- Saunders, W M H; C G Sherrell & I M Gravett. 1987. Calibration of Olsen bicarbonate phosphorus soil test for pasture on some New Zealand soils. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 30(3):387-394.
- Shuman, L P; P L Raymer; J L Day & L J Cordonnier. 1988. Comparison of four phosphorus extraction methods on three acid southeastern soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19:579-595.
- Sims, J T. 2000. Soil test phosphorus: Olsen P. In: Pierzinsky, G M (ed.). *Methods for P analysis*. Pp. 20-21.
- Vanzolini, J; L Dunnel; L Zubiaga; R Storniolo; D Ombrosi; C Álvarez & A Quiroga. 2017. Estimación del fósforo disponible y la calidad de suelos de uso agrícola en el área de secano del partido de Villarino. III Jornadas Nacionales de suelos de ambientes semiáridos. Bahía Blanca. *Boletín electrónico CERZOS*.
- Vazquez, S. 2005. Extracción de P asimilable por bicarbonato de sodio. En: Marban, L & S E Ratto (Eds.). *Tecnologías en análisis de suelo*. Buenos Aires: AACs. Pp. 181-186.
- Wuenschel, R; H Unterfrauner; R Peticzka & F Zehetner. 2015. A comparison of 14 soil phosphorus extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe. *Plant Soil Environ.* 61(2):86-96.
- Zalba, P; O Bravo; N M Amiotti & N Peinemann. 2002. Métodos alternativos para determinar las disponibilidades de fósforo en suelos agrícolas. *Ciencia del Suelo* 20(1):50-53.
- Zalba, P & J A Galantini. 2007. Modified soil-test methods for extractable phosphorus in acidic, neutral and alkaline soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38:1579-1587.
- Zamuner, E C; J Lloveras & H Echeverría. 2015. Métodos agronómicos y ambientales de determinación de fósforo en argiudoles del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 33(1):55-63.