

EVALUACIÓN DEL FÓSFORO DISPONIBLE MEDIANTE TRES MÉTODOS EN DISTINTOS SUELOS Y MANEJOS PRODUCTIVOS

CAROLINA FERNÁNDEZ LÓPEZ*¹ & RODOLFO MENDOZA²

¹ FCA-UNNE. Sargento Cabral 2131. CP: W3402BKG. Corrientes. Argentina.

Correo electrónico: carolfl@agr.unne.edu.ar (*autor para correspondencia)

² Museo Argentino de Cs Naturales. Angel Gallardo 470, lab. N°. 67. C.P.: C1405DJR. Cap. Fed. Argentina.

Correo electrónico: rmendoza@macn.gov.ar

Recibido: 08/04/07

Aceptado: 10/04/08

RESUMEN

El fósforo (P) es un nutriente de baja solubilidad y movilidad en los suelos, que se encuentra generalmente en situaciones de deficiencia para el crecimiento vegetal, y sólo puede ser repuesto mediante la fertilización. Debido a la variabilidad en la evaluación de la disponibilidad de P en el suelo, se realizó este trabajo con el objetivo de: a) comparar entre sí dos de los métodos más comunes de evaluación de disponibilidad de P del suelo (Bray I y Olsen), y el método de la tirta de papel de filtro embebida en óxido de hierro (Strip); b) estimar cual de los métodos se relaciona mejor con algunas variables vegetales ante distintas condiciones de manejo y tipos de suelos. Se estudiaron suelos de los órdenes Entisol, Alfisol y Vertisol de la provincia de Corrientes en condición natural o cultivado con Citrus, arroz o pasturas, respectivamente. Se determinaron algunas propiedades físicas y químicas, verificando la similitud textural entre los suelos Testigos y Cultivados. Se realizó un ensayo en invernadero de cada uno de los seis suelos con once niveles de P (entre 0-200 mg P por kg de suelo) y luego se los incubó durante 25 días a 28 °C. Al finalizar la incubación se determinó el P disponible mediante los procedimientos recomendados para los métodos de Bray I, Olsen y Strip. Se sembró "rye grass" (*Lolium perenne*) que se cosechó a los 45 días de la siembra para cuantificar la materia seca aérea y análisis de P en tejido. Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que todos los métodos de evaluación de la disponibilidad de P del suelo describieron de manera adecuada y significativa las relaciones entre MS (R^2 entre 0,35 a 0,95, y valores extremos para el Vertisol y el Entisol), %P (con R^2 entre 0,92 y 0,95) y P absorbido (R^2 entre 0,93 y 0,96 y con muy pocas diferencias entre los suelos) con el P extractado por los tres métodos. Sin embargo, la bondad de los ajustes fue diferente entre suelos, extractantes y manejos productivos, y sugieren la existencia de una interacción tripartita que arroja diferentes resultados en el valor final del P disponible. Se concluye que, no necesariamente el método más sencillo en la evaluación de P disponible para el vegetal es el que mejor refleja la relación con la materia seca o con la concentración del P en el tejido.

Palabras clave. P Bray, P Olsen, P Strip, Entisol, Alfisol, Vertisol.

EVALUATION OF PHOSPHORUS AVAILABLE BY THREE METHODS IN DIFFERENT SOILS AND PRODUCTIVE MANagements

ABSTRACT

Phosphorus is a nutrient with low soil solubility and mobility and may present limited availability for plant growth. One way to increase phosphorus availability in soil is by fertilization. Due to the variability in the evaluation of phosphorus availability in soil, the study was carried out with the following objectives: a) to compare two of the most common soil available P methods (Bray I and Olsen), and the iron oxide impregnated filter paper method (Strip); b) to evaluate which of the methods is better related to some plant variables under different managements and soil conditions. The soils selected from Corrientes Province were: 1) Entisol: natural soil as a control and cultivated with *Citrus*, 2) Alfisol: control and cultivated with rice, 3) Vertisol: control and cultivated with pastures. Physical and chemical soil properties indicated that soils from the same order differed in the textural composition, despite having similar chemical properties, suggesting that the differences among soils can be ascribed to cultivation. In addition, a greenhouse pot trial was conducted. Six soils were fertilized with eleven levels of P (0-200 mg P kg⁻¹) and then incubated during 25 days at 28 °C. After incubation, soil samples were analyzed for P by the Olsen, Bray I and Strip methods. Rye grass was grown in pots during 45 days and the shoot dry matter was harvested and its P content analyzed. The results obtained in this work suggest that the three studied methods of P availability in soils described adequately and significantly the relationship between extracted P and dry matter yield (R^2 between 0.35 for the Vertisol and 0.95, for the Entisol), % P (R^2 between 0.92 and 0.95) and absorbed P (R^2 between 0.93 and 0.96). Nevertheless, the adjustments were different between soils, extractants and crop managements, suggesting the existence of a three-way interaction that determines different results in the final value of P availability in soil. Finally, we can conclude that the simplest method may not be the one that is most positively related to dry matter production or the concentration of the P in plant tissue.

Key words. Bray P, Olsen P, Strip P, Entisoll, Alfisoll, Vertisoll.

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) es un nutriente de baja solubilidad y movilidad en los suelos que se encuentra generalmente en situaciones de deficiencia para el crecimiento vegetal, y sólo puede ser repuesto mediante la fertilización (McDowell & Sharpley, 2003; Takahashi & Anwar, 2007). Una de las formas de evaluar el grado de deficiencia y posteriormente diagnosticar la cantidad de P a agregar al suelo y aumentar su disponibilidad para el crecimiento vegetal, se realiza comúnmente mediante soluciones (extractantes) que remueven del suelo una cierta cantidad de P, considerada asimilable por las plantas. Existen varios métodos utilizados para evaluar el P disponible del suelo que varían en su formulación, mecanismos de remoción del P, relación suelo:solución, etc.; y que han mostrado ventajas y desventajas (Mallarino & Atia, 2005; Abdu, 2006).

La provincia de Corrientes, ubicada en el noreste de la Argentina, presenta un clima subtropical húmedo y posee diversidad de suelos que corresponden a siete órdenes del Soil Taxonomy. Entre ellos hay Entisoles, representados por lomadas arenosas, planicies y depresiones, y lomadas rojizas; Molisoles y Vertisoles ubicados en la región de las Cuchillas Mesopotámicas; además de Alfisoles, Histosoles, Ultisoles e Inceptisoles (Escobar *et al.*, 1996). Las actividades económicamente importantes son la citrícola, la arrocería y la ganadería (Escobar *et al.*, 1996), que se desarrollan principalmente en suelos Entisoles, Alfisoles y Vertisoles, respectivamente. Desde el punto de vista de la fertilidad todos los suelos presentan una generalizada deficiencia de fósforo (P) para el crecimiento vegetal (Escobar *et al.*, 1996).

El extractante ideal de P sería aquel capaz de remover o desplazar del suelo una cantidad de P proporcional a aquella que sería absorbida por el vegetal durante el período de crecimiento; y además no desplazar aquel P inaccesible para el vegetal durante dicho período (Aigner *et al.*, 2002; Araújo *et al.*, 2004). Sin embargo, ese extractante ideal debería a la vez permitir que el suelo manifieste aquellas propiedades que retienen o liberan P, de la solución o a la solución, respectivamente, y que también afectan el crecimiento vegetal (Mendoza & Barrow, 1987a; Obreza, 2001). Debido a que el extractante ideal no existe, es por ello que desde hace mucho tiempo se discute la definición de P disponible y sobre que método de "extracción" es el mejor para determinar el P disponible (Bray & Kurtz, 1945; Olsen *et al.*, 1954; Mendoza & Barrow, 1987a; Menon *et al.*, 1988; Mendoza & Marbán, 1990; Marbán & Mendoza, 1995; McDowell & Sharpley, 2003; Shekiffu & Semoka, 2007).

En la región de la Mesopotamia Argentina los métodos de evaluación de la disponibilidad de P del suelo son

Bray I para suelos de pH inferiores a 7 y Olsen para los suelos provenientes de cultivos de arroz bajo inundación y horticultura intensiva en un amplio rango de pH (4,8-7,7) (Boschetti & Quintero, 2005; Vázquez, 2005). El método Strip fue desarrollado por Menon *et al.* (1988), y utilizado en la Argentina por primera vez por Marbán y Mendoza (1995) y Mendoza *et al.* (1995) en suelos de la región triguera de Tres Arroyos (pH 5,8-6,1). Al correlacionar entre sí métodos convencionales e innovativos de extracción de P del suelo Marbán (2005) encontró que en suelos con contenido de arcilla entre 0-47%, pH 4,2-8,6; y P extractado por el método de Mehlich III: 2-205 mg kg⁻¹; las mejores correlaciones se obtuvieron siempre entre el P Strip y cualquiera de los métodos restantes (Olsen, Bray I y Mehlich III). En este trabajo se sugirió que P Strip determinó valores de P del suelo semejantes a los métodos convencionales y podría ser adecuado su empleo en suelos argentinos.

Antes de concluir sobre la conveniencia de qué método de extracción de P utilizar, creemos necesario definir previamente algunos criterios que posteriormente podrían alterar la conclusión final: a) cuál será la variable a relacionar con el P extractado; si la producción vegetal, la concentración de P en el tejido vegetal o el P total absorbido por el vegetal; b) qué criterio se empleará para definir el mejor extractante; será aquel sencillo y práctico de utilizar, o aquel que se relacione mejor con las variables vegetales, independientemente de la complejidad de manipuleo o interpretación; c) se buscará hallar un único extractante para ser utilizado en varios tipos de suelos, usos y manejos productivos, o se buscará aquel que tenga la capacidad de discriminar entre suelos y tipos de manejos productivos para utilizarlo en situaciones específicas.

Se plantea como hipótesis que el método de P Strip presentaría ciertas ventajas desde el punto de vista teórico, en cuanto a su mecanismo de remoción de P del suelo, para diferentes tipos de suelo y manejos respecto a los métodos comunes en la evaluación del P disponible.

El objetivo de este trabajo fue: a) comparar entre sí dos de los métodos más comunes de evaluación de disponibilidad de P del suelo (Bray I y Olsen), y el método Strip; b) estimar cual de los métodos se relaciona mejor con algunas variables vegetales ante distintas condiciones de manejo y tipos de suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos y cultivos

Se seleccionaron tres suelos de distinto órdenes y en cada uno de ellos dos manejos productivos diferentes y representativos de

la actividad en la provincia de Corrientes, un control en estado natural (Testigo) y otro cultivado (Cultivado). Así se obtuvieron muestras de los siguientes suelos:

1. Sitio I (Entisol Testigo), suelo natural testigo sin historia de cultivo.
2. Sitio II (Entisol Cultivado), con monte citrícola implantado con naranja (*Citrus sinensis*), fertilizado y encalado; muestreado bajo el vuelo de la copa.
3. Sitio III (Alfisol Testigo), suelo natural testigo sin historia de cultivo.
4. Sitio IV (Alfisol Cultivado), con producción arrocerá y fertilizado; muestreado en el líneo post cosecha.
5. Sitio V (Vertisol Testigo), suelo natural testigo sin historia de cultivo.
6. Sitio VI (Vertisol Cultivado), con pastura fertilizada para corte (*Setaria* sp.); muestreado en la línea de siembra.

En cada sitio se tomaron muestras de 5 parcelas de 100 m x 100 m separadas a 100 metros en una transecta de igual cota, y compuesta por 5 submuestras de suelo a una profundidad de 0-15 cm, en una cantidad de 30 kg, suficientes para la realización de un ensayo en invernadero.

Con las muestras de suelo secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm, se homogenizaron y se analizaron algunas propiedades (Tabla 1): textura, método de Bouyoucos (Dewis & Freitas, 1970); pH en agua, 1:2,5 (Jackson, 1964); conductividad eléctrica (CE) en extracto de pasta saturada (Richards, 1973); materia orgánica (MO), método de Walkley & Black modificado (Page *et al.*, 1982); nitrógeno total (N), método semimicrokjeldahl (Page *et al.*, 1982); cationes intercambiables (Ca, Mg), con acetato de amonio (Page *et al.*, 1982); Pasimilable: método de Bray-Kurtz I (Bray & Kurtz, 1945); P total (Pt), inorgánico (Pti) y orgánico (Pto) por el método de Bowman (Condon *et al.*, 1990).

Ensayo de invernadero

Se realizó un ensayo en invernadero en macetas que contenían 0,5 kg de suelo de cada uno de los seis sitios dispuestas en un diseño en bloques al azar con once niveles de P (entre 0-200 mg P por kg de suelo) y dos repeticiones. El P se agregó como KH_2PO_4 en solución de manera uniforme y homogénea, utilizándose reactivo pro-análisis para evitar agregar impurezas de fertilizantes comerciales. Las muestras se incubaron a 28-30 °C durante 25 días a una humedad apropiada como para permitir el manipuleo, y con el objeto de incrementar la reacción entre el P agregado y el suelo, en un período relativamente corto y simular así la reacción que ocurriría en campo en un período relativamente largo (Mendoza & Barrow, 1987b).

Luego de agregar las correspondientes dosis de P al suelo, incubarlo, y antes del ensayo de invernadero, se determinó el P disponible mediante los procedimientos recomendados para los métodos de Bray I (PBr) y Olsen (POI) (Kuo, 1996). El método de Strip (PSt) (Menon *et al.*, 1988) se realizó colocando 5 cintas de papel (2 cm por 10 cm) impregnadas con óxido férrico en un

tubo de centrífuga de 50 ml donde se pesó 1 g de suelo y se agregó 40 ml de CaCl_2 0,01 M (pH: 6), agitado durante 16 hs. Luego se sacaron las cintas y se lavaron con agua destilada, a continuación se colocaron en tubos de centrifugas de 100 ml y se agregó 40 ml de H_2SO_4 0,2 M por 4 hs para desplazar a la solución el P retenido en las cintas. Luego se trasvasó el extracto a un matraz de 100 ml, y se volvió a colocar 20 ml de ácido en contacto con las tiras 2 veces más. El extracto se diluyó a volumen apropiado y se determinó el P desplazado.

El P obtenido por los diferentes métodos se determinó en los extractos según Murphy & Riley (1962). Para todos los procedimientos se mantuvo la temperatura ambiente entre 20 y 24 °C y se utilizó un agitador mecánico recíproco con los tubos de 50 ml en forma horizontal.

Como planta índice se utilizó "ray grass" (*Lolium perenne*) que se sembró a razón de 30 semillas por maceta que habían sido embebidas con agua destilada durante 8 hs y frío para estabilizar la germinación. Todos los tratamientos recibieron previo a la siembra una solución que contenía 12,5 mg de N como NH_4NO_3 , y 4,48 mg de N y 12,5 mg de K como KNO_3 . Durante el experimento se agregó cada 15 días 7,5 mg de N en solución NH_4NO_3 .

A los 45 días se cosechó la parte aérea para la cuantificación de la materia seca (MS) y análisis de P en tejido (Jackson, 1964). Las variables vegetales utilizadas para relacionarlas con el P extractado fueron: materia seca del vástago (MS), concentración de P en el vástago (%P) y el P absorbido (Pabs) representado por el contenido total P en el vástago. La ecuación utilizada fue una hipérbola creada por Barrow & Mendoza (1990), que resulta ser lo suficientemente flexible para adaptarse a distintos tipos de respuestas para suelos y plantas:

$$Y = A - B [1 / (1 + M C X^N)]^{1/M} \quad (1)$$

Donde "Y" es la producción de materia seca (g), la concentración (%P) o el contenido de P en tejido (mg P); "A" representa al máximo valor estimado de Y, "A-B" es el valor de Y cuando no se agregó P al suelo, "X" es el P extractado del suelo, y "M", "C" y "N" son coeficientes que se obtienen del propio ajuste. El estudio consistió en ajustar de manera conjunta a todos los puntos experimentales correspondientes al suelo Testigo (T) y Cultivado (C) en una sola ecuación compuesta por 5 coeficientes como la indicada anteriormente (Ec. 1a), asumiendo de esta manera que no existen diferencias debidas al manejo dentro de cada tipo de suelo; y luego compararla con el ajuste de los mismos puntos experimentales pero agrupados de manera separada y con un máximo total de 10 coeficientes (Ec. 1b), un grupo de datos para el suelo testigo (T) y otro para el suelo cultivado (C). De esta manera se asumió que existen diferencias debidas al cultivo y/o manejo (Barrow & Mendoza, 1990). Para comparar ecuaciones con un número distinto de coeficientes y establecer si un ajuste fue mejor que otro, se utilizó la suma residual de cuadrados de cada ajuste. Un ajuste de una ecuación con un mayor número de coeficientes se consideró mejor que otra de menor número sólo si aquella producía una disminución significativa en la suma residual de cuadrados del ajuste ($P < 0,05$). Para esta comparación entre ecuaciones se utilizó el método de Nelder & Mead (1965).

Tabla 1. Valores promedios de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados (n=5). Valores en paréntesis indican la desviación estándar.

Table 1. Mean values of some physical and chemical soil properties (n=5). Values in brackets are standard deviations.

Propiedad	Unidades	Entisol				Alfisol				Vertisol			
		Testigo		Cultivo		Testigo		Cultivo		Testigo		Cultivo	
Arena	%	83,19	(±0,99)	81,08	(±1,44)	46,96	(±0,84)	48,6	(±2,08)	55,7	(±1,57)	57,59	(±0,57)
Limo		6,98	(±0,68)	8,9	(±0,59)	27,96	(±0,74)	30,05	(±1,60)	20,92	(±0,56)	19,84	(±0,36)
Arcilla		9,83	(±0,36)	9,84	(±0,95)	25,08	(±0,88)	21,36	(±0,74)	23,38	(±1,31)	22,58	(±0,68)
pH Agua		4,55	(±0,18)	5,99	(±0,16)	5,42	(±0,02)	5,54	(±0,02)	5,28	(±0,12)	5,22	(±0,17)
CE	dS m ⁻¹	0,21	(±0,01)	0,24	(±0,01)	0,62	(±0,03)	0,52	(±0,02)	0,49	(±0,02)	0,38	(±0,02)
M.O.	%	0,48	(±0,14)	0,95	(±0,05)	3,94	(±0,14)	3,15	(±0,12)	4,11	(±0,48)	3,29	(±0,23)
N		0,05	(±0,01)	0,05	(±0,01)	0,17	(±0,02)	0,17	(±0,01)	0,23	(±0,01)	0,23	(±0,01)
Ca	cmol kg ⁻¹	1,68	(±0,33)	2,34	(±0,14)	14,73	(±0,76)	13,57	(±0,42)	14,84	(±0,91)	14,07	(±0,73)
Mg		0,38	(±0,09)	0,23	(±0,05)	0,96	(±0,10)	1,39	(±0,15)	1,04	(±0,25)	1,93	(±0,37)
Bray I	mg kg ⁻¹	3,69	(±0,28)	5,81	(±0,38)	6,41	(±0,42)	4,97	(±0,41)	6,55	(±0,58)	8,5	(±0,99)
Pt		79,77	(±17,16)	124,45	(±16,96)	151,43	(±12,26)	173,36	(±12,55)	214,79	(±19,79)	211,29	(±23,41)
Pti		48,04	(±9,67)	64,69	(±14,23)	34,89	(±8,9)	68,84	(±7,19)	87,23	(±9,24)	96,00	(±18,41)
Pto		31,73	(±11,24)	59,72	(±7,79)	116,53	(±18,23)	104,52	(±9,06)	127,55	(±17,85)	115,30	(±6,86)

CE: conductividad eléctrica, M.O.: materia orgánica, N: nitrógeno, Ca: calcio, Mg:magnesio, Bray I: fósforo extractado por Bray I, Pt: fósforo total, Pti: fósforo total inorgánico, Pto: fósforo total orgánico.

Se calculó también el rendimiento relativo del vástago del rye grass para cada suelo y extractante ($RR (\%) = MS / \text{rendimiento máximo de MS}$). El rendimiento "máximo" de MS para cada tratamiento fue estimado a través de las Ec (1a, 1b) según correspondía en cada caso, y de aquí se calculó en valor de Pext por cada extractante necesario para alcanzar el 95% del máximo rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelos y cultivos

A pesar que existieron algunas diferencias en las propiedades químicas entre el suelo Testigo y Cultivado para los tres suelos estudiados, la composición textural fue similar y garantizó en cierta medida que se trataba del mismo suelo y que las diferencias podrían adjudicarse al efecto del manejo y/o sistema productivo utilizado (Tabla 1).

El Entisol es un suelo arenoso de origen cuarzoso (Tabla 1), de pH ácido, de baja fertilidad, bajo contenido de MO, N y P disponible. Con el cultivo de naranja se produjo un aumento del pH, MO y P asimilable. En este sentido, para suelos de características y cultivo similares Obreza (2001) encontró que los "test" de P del suelo eran insuficientes para cuantificar el P disponible. En nuestro caso en el Entisol, los niveles de P Bray, Pt, Pti y Pto fueron bajos pero siempre claramente mayores en las muestras provenientes del suelo Cultivado (Tabla 1). Este resultado sugiere que existe una mayor cantidad de formas de P potencialmente disponibles en el suelo Cultivado respecto del Testigo natural sin cultivar.

El Alfisol mostró un mayor contenido de arcilla, MO, N, P disponible, Ca y Mg respecto del Entisol (Tabla 1). En el suelo Cultivado con arroz el pH fue superior al Testigo. Este resultado podría ser atribuido a procesos redox ocurridos durante la inundación tal como fue reportado por Scalenghe *et al.* (2002). Simultáneamente hubo una disminución del contenido de MO, que podría atribuirse al laboreo intensivo bajo condiciones de pudelado, que disgrega la estructura del suelo con el laboreo bajo condiciones de inundación. El valor de Pti fue el doble en el suelo Cultivado respecto al Testigo, pero sin embargo, el P disponible fue superior en el suelo Testigo respecto al Cultivado, y podría deberse a una subestimación de éste por Bray I como consecuencia de los ciclos de humedecimiento-secado que disminuirían el valor de P extractado (Scalenghe *et al.*, 2002; Shekiffu & Semoka, 2007). En N no hubo diferencias entre ambos manejos.

El Vertisol es un suelo arcilloso, con un alto contenido de MO y con mejor fertilidad química respecto a los

otros dos, tal como lo reflejan los valores de N y P (Tabla 1). A priori, estos niveles nutricionales en suelo indicarían que se necesitan bajos niveles de agregados para acercarse a la máxima producción (Tabla 1). Además, se observaron características químicas y físicas similares en el suelo Testigo y Cultivado, con excepción de los valores de MO que fueron mayores en el Testigo, y podrían también indicar a priori que existiría una escasa diferencia entre los valores esperados de producción para ambos suelos con el agregado de P.

Ensayo de invernadero

En el caso del Entisol, el ajuste de las curvas de producción de materia seca aérea (MS) en función del P extractado por los tres métodos determinó un máximo de producción significativamente diferente para cada curva de respuesta entre el suelo Testigo y Cultivado (Fig. 1a). Esta diferencia entre las curvas de respuesta se debió a diferencias en las propiedades químicas y físicas del suelo en general (Tabla 1), atribuidas al efecto del manejo productivo que recibió el suelo Entisol, que disminuyeron la producción de MS a lo largo de todo el gradiente de incorporación de P al suelo. En todos los casos, los ajustes fueron significativamente superiores cuando se ajustaron dos curvas separadas para los suelos Testigo y Cultivado (Ec. 1b), respecto a cuando se ajustó una sola curva (Ec. 1a) para todos los puntos experimentales. El PBr ($R^2=0,945$) y PSt ($R^2=0,946$) describieron mejor la relación con la MS que el POI ($R^2=0,926$) (Fig. 1a). La Tabla 2 muestra que para los tres métodos la utilización de la Ec. 1b, con 10 coeficientes, que discrimina al suelo Testigo respecto del Cultivado fue superior estadísticamente a la Ec. 1a, con 5 coeficientes, que agrupa a ambos suelos en un mismo ajuste.

Cuando se analizó la relación entre la concentración de P en vástago (%P) y el Pext, el PSt fue superior en ajuste ($R^2=0,951$), respecto de POI ($R^2=0,922$) y PBr ($R^2=0,939$), y justificó estadísticamente el empleo de dos curvas separando de esta manera la relación con PSt para el suelo Testigo y Cultivado respectivamente (Fig. 1b, Tabla 2). Sin embargo, tanto para POI como para PBr, el empleo de dos curvas (Ec. 1b, con 6 coeficientes) no se pudo justificar estadísticamente debido a que en ambos ajustes no se logró obtener una disminución significativa de la suma residual de cuadrados (Tabla 2). En consecuencia, POI y PBr no discriminaron ambos manejos.

Sin embargo, cuando se multiplicó el %P en el vástago por su biomasa para calcular el contenido de P en vástago (Pabs), los tres métodos discriminaron los suelos por sistemas productivos diferentes compensando

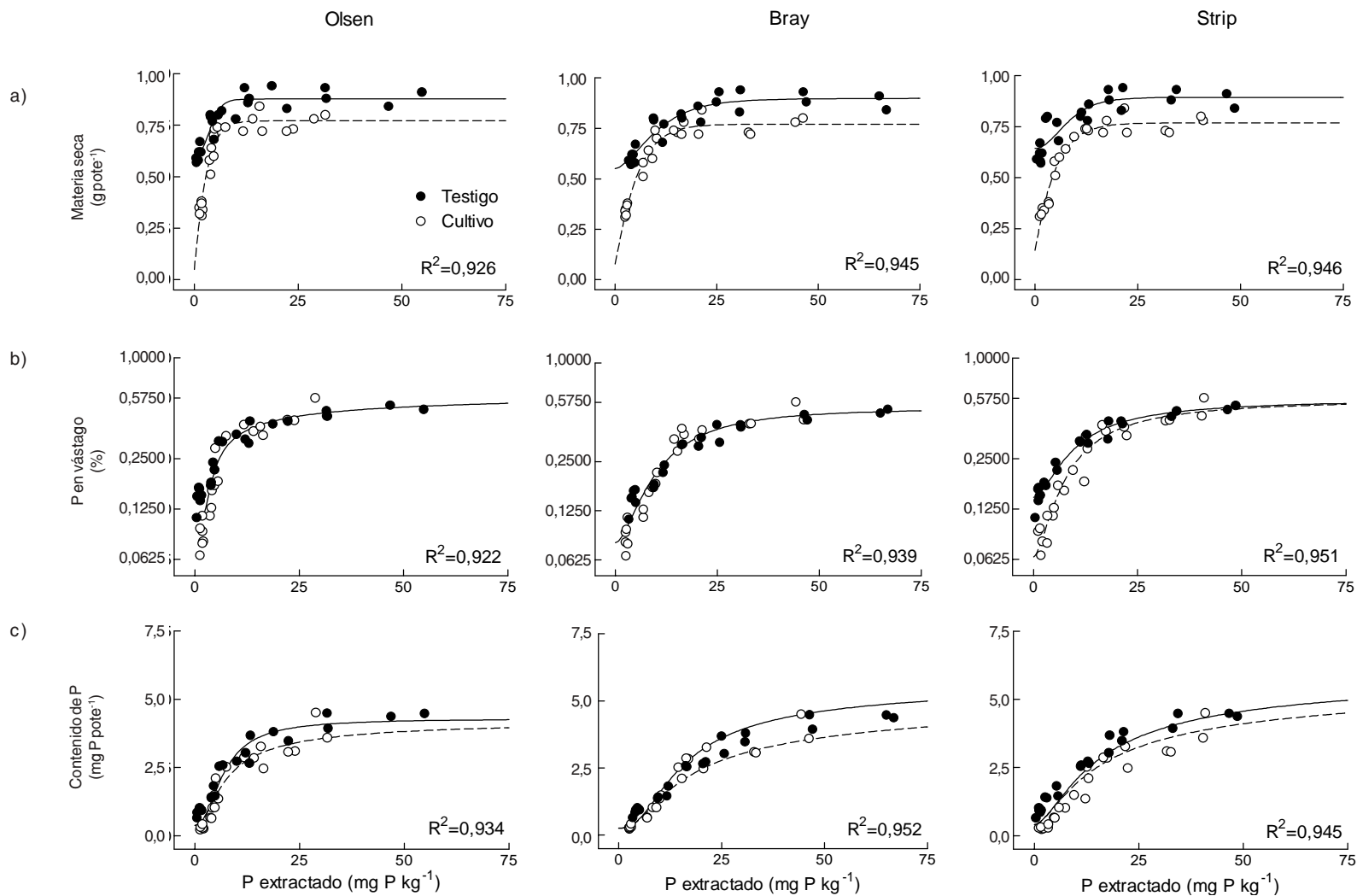


Figura 1. Relación entre el P extractado (P_{ext}) por los métodos de Olsen, Bray I y Strip, con a) Materia Seca (MS), b) concentración de P en vástago (%P) y c) Contenido de P (P_{abs}) en el Entisol.

Figure 1. Relationship between phosphorus extracted by the methods of Olsen, Bray I and Strip with a) Dry Matter, b) Phosphorus concentration in above-ground biomass and c) Phosphorus content in the Entisol.

Tabla 2. Comparación estadística entre ajustes mediante ecuación 1 (Ec. 1a vs. 1b) de los puntos experimentales (n = 44); para MS, %P y Pabs vs. Pext por los tres métodos en el Entisol correspondientes a la Figura 1a, b y c.

Table 2. Statistical comparisons between adjustments by means of equation 1 (Ec. 1a vs. 1b) ; for the relationship between MS, %P and Pabs versus Pext by the three methods in the Entisol (n = 44); depicted in Figures 1a, b and c.

Método	Fuente de variación	Materia seca				P en vástago				Contenido de P			
		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Valor de F	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Valor de F	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Valor de F
Olsen	Total	1,3161	43			0,8855	43			78,7561	43		
	Ec. 1a	0,8778	5	0,1756		0,8215	5	0,1643		72,1069	5	14,4214	
	Residual Ec. 1a	0,4383	38	0,0115	15,22 ***	0,0640	38	0,0017	97,55 ***	6,6492	38	0,1750	82,42 ***
	Ec. 1b	1,2184	10	0,1218		0,8265	6	0,1378		73,5650	6	12,2608	
	Residual Ec. 1b	0,0978	33	0,0030	41,13 ***	0,0590	37	0,0016	86,39 ***	5,1911	37	0,1403	87,39 ***
	Mejora 1b vs. 1a	0,3406	5	0,0681	22,99 ***	0,0050	1	0,0050	3,14 ns	1,4581	1	1,4581	10,39 *
Bray	Ec. 1a	1,1152	5	0,2230		0,8315	5	0,1663		71,2692	5	14,2538	
	Residual Ec. 1a	0,2009	38	0,0053	42,19 ***	0,0540	38	0,0014	117,03 ***	7,4869	38	0,1970	72,35 ***
	Ec. 1b	1,2439	10	0,1244		0,8339	6	0,1390		74,9361	6	12,4894	
	Residual Ec. 1b	0,0722	33	0,0022	56,85 ***	0,0516	37	0,0014	99,66 ***	3,8200	37	0,1032	120,97 ***
	Mejora 1b vs. 1a	0,1287	5	0,0257	11,76 ***	0,0024	1	0,0024	1,72 ns	3,6669	1	3,6669	35,52 ***
	Strip	Ec. 1a	0,7666	5	0,1533		0,8060	5	0,1612		73,7280	5	14,7456
Residual Ec. 1a		0,5495	38	0,0145	10,60 ***	0,0795	38	0,0021	77,05 ***	5,0281	38	0,1323	111,44 ***
Ec. 1b		1,2425	10	0,1243		0,8423	6	0,1404		74,3487	6	12,3915	
Residual Ec. 1b		0,0736	33	0,0022	55,73 ***	0,0432	37	0,0012	120,24 ***	4,4074	37	0,1191	104,03 ***
Mejora 1b vs. 1a		0,4759	5	0,0952	42,69 ***	0,0363	1	0,0363	31,09 ***	0,6207	1	0,6207	5,21 *

*, **, ***; Indican significancia al nivel de 0,05; 0,01 y 0,001, respectivamente.

los efectos de las variables en estudio, y no se observaron apreciables diferencias entre los ajustes finales (Fig. 1c, Tabla 2). En este caso la Ec. 1b tuvo también 6 coeficientes, y las sucesivas aproximaciones determinaron que el valor de M en Ec. 1, fue el único que justificó estadísticamente su inclusión para diferenciar ambos manejos. Por otra parte, en niveles altos de Pext el Pabs fue mayor en el suelo cultivado que en el testigo, a diferencia de la MS donde fueron mayores en el suelo testigo (Fig. 1c).

Para el Alfisol (Fig. 2) en todos los casos (MS, %P y contenido de P) el ajuste con Pext por los tres métodos determinó que estadísticamente correspondió utilizar dos curvas separadas (Ec. 1b) (Tabla 3), una para el Testigo y otra para el Cultivado, en lugar de una sola que incluya a ambos manejos (Ec. 1a). De manera tal que, independientemente de un mejor ajuste general por parte de un método respecto a otro, todos ellos discriminaron entre el suelo Testigo y el Cultivado, y en todos los casos los valores de R^2 tuvieron escasas diferencias entre los tres métodos para las tres relaciones (MS, %P y Pabs) con el P extractado.

Para suelos inundados con producción de arroz, tal es el caso del Alfisol, varios autores encontraron que el P extractado por el método Strip describió mejor la producción de materia seca (Semoka *et al.*, 1996; Shekiffu & Semoka, 2007); sin embargo, en nuestro caso una vez aireados y secados los suelos no encontramos diferencias entre los métodos de Bray I, Olsen y Strip.

En el Vertisol al describir la producción de biomasa aérea (MS) del Testigo y Cultivo sólo se encontraron escasas diferencias cuando no se agregó P al suelo, pero inmediatamente después de agregar pequeñas dosis los valores de producción en ambos manejos se aproximaron a un máximo en común (Fig. 3a). La comparación estadística no justificó el empleo de dos curvas en ninguno de los métodos, de manera tal que se utilizó un solo ajuste que agrupó ambos suelos, Testigo y Cultivado (Ec. 1a) con 5 coeficientes (Tabla 4). La producción fue similar y no fue afectada por el agregado de P independientemente del manejo, y resultó consistente con las propiedades del suelo medidas inicialmente que también fueron similares en ambas condiciones de manejo (Tabla 1).

Respecto a la relación entre %P con el Pext por los tres métodos se observó que para Olsen y Bray I se emplearon dos curvas que diferenciaron la condición distinta de manejo mediante la Ec. 1b con 9 coeficientes, mientras que para Strip el empleo de dos curvas para cada manejo no mejoró el ajuste de manera estadísticamente significativa con respecto al empleo de una sola curva que describe ambos manejos mediante la Ec. 1a (Fig. 3b, Tabla 4). Sin embargo en el caso de la Ec. 1a para PSt ($R^2 = 0,934$), aunque con una sola curva de respuesta con 5

coeficientes, se pudo describir la relación de manera similar y aún superior respecto de POI ($R^2 = 0,927$) y PBr ($R^2 = 0,918$) (Fig. 3b). De la misma manera, la relación entre Pabs y Pext tuvo una respuesta similar a la observada para %P (Fig. 3c), en POI y PBr se utilizaron dos curvas mientras que para PSt sólo una y con un mayor valor de R^2 (Tabla 4). Además en este suelo Vertisol, PSt además de tener el mejor ajuste fue el único que mostró que no existieron diferencias entre los sistemas productivos para las variables MS, %P y Pabs en su relación con Pext (Fig. 3a,b,c; Tabla 4).

A diferencia de Bray y Olsen, el método Strip ha sido consistente en la relación entre el Pext con MS, %P y Pabs en los tres suelos y manejos productivos estudiados. Para las tres variables analizadas Strip diferenció los dos manejos en el Entisol, mientras que Olsen y Bray no discriminaron entre manejos para la relación entre Pext y %P. En el Alfisol, los tres métodos mostraron las diferencias entre los suelos Testigo y Cultivado. Finalmente en el Vertisol, Strip también mostró consistencia en la relación entre Pext y MS, %P y Pabs, donde no se observaron diferencias entre los dos manejos; sin embargo tanto Olsen como Bray separaron ambos manejos en su relación con %P, a pesar que Pext vs. MS fue la misma para el suelo Testigo y Cultivado.

La Figura 4 muestra la relación entre el Pext para cada método de manera separada y la materia seca relativa del vástago (%) para todos los suelos y manejos en su conjunto. El valor utilizado como 100% para cada suelo, manejo y extractante, se obtuvo a partir del máximo valor del Pext que estimó su correspondiente ajuste de la materia seca mediante las Ecs. (1a o 1b) según las Figuras 1, 2 y 3. En esta figura, se observa que el ajuste mediante la Ec. (1) del Pext por los tres métodos con la materia seca relativa (%) fue adecuado y similar entre métodos, y además debido a que los valores de materia seca relativa (%) fueron específicos y diferentes para cada suelo, no fue posible asegurar cual de los tres métodos ofrece un mejor ajuste a partir del valor de R^2 . Sin embargo, los niveles críticos del Pext para cada extractante correspondientes para obtener el 95% del máximo de producción fueron diferentes con valores de 9,7; 14,7 y 12,5 mg P kg⁻¹ para Olsen, Bray y Strip, respectivamente (Fig. 4).

Como ya mencionaran otros autores, al referirse a los distintos métodos de extracción de P del suelo resulta importante obtener información sobre la distinta selectividad de las soluciones extractantes (Sharpley *et al.*, 1985; González *et al.*, 2007). Las diferencias podrían deberse a varias variables e interacciones entre ellas, que deben ser estudiadas de manera más específica para poder interpretar los causales de las mismas. En el caso de Bray I, se trata de una solución ácida débil de pH 3, con un tiem-

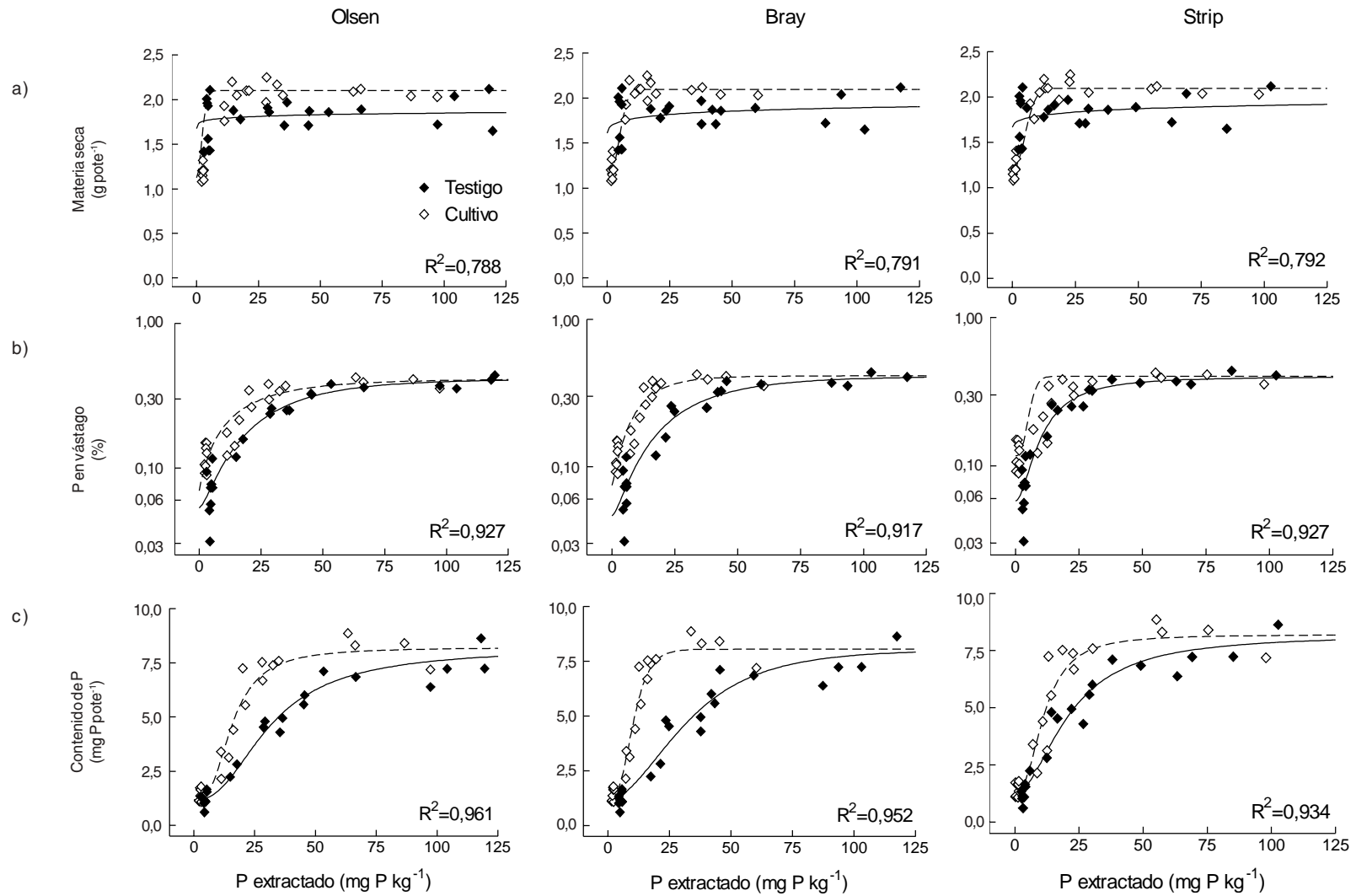


Figura 2. Relación entre el P extractado (Pext) por los métodos de Olsen, Bray I y Strip, con: a) Materia Seca (MS); b) concentración de P en vástago (%P) y c) Contenido de P (Pabs) en el Alfisol.

Figure 2. Relationship between phosphorus extracted by the methods of Olsen, Bray I and Strip, with a) Dry Matter, b) Phosphorus concentration in the above-ground biomass and c) Phosphorus Content in the Alfisol.

Tabla 3. Comparación estadística entre ajustes mediante ecuación 1 (Ec. 1a vs. 1b) de los puntos experimentales (n = 44); para MS, %P y Pabs vs. Pext por los tres métodos en el Alfisol correspondiente a la Figura 2a, b y c.

Table 3. Statistical comparisons between adjustments by means of equation 1 (Ec. 1a vs. 1b) for the relationship between MS, %P and Pabs versus Pext by the three methods in the Alfisol (n = 44); depicted in Figures 2a, b and c.

Método	Fuente de variación	Materia seca				P en vástago				Contenido de P			
		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Valor de F	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Valor de F	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Valor de F
Olsen	Total	4,9454	43			0,7041	43			326,2100	43		
	Ec. 1a	2,8614	5	0,5723		0,6195	5	0,1239		286,8654	5	57,3731	
	Residual Ec. 1a	2,0840	38	0,0548	10,44 ***	0,0846	38	0,0022	55,65 ***	39,3446	38	1,0354	55,41 ***
	Ec. 1b	3,8976	9	0,4331		0,6529	9	0,0725		313,4342	6	52,2390	
	Residual Ec. 1b	1,0478	34	0,0308	14,05 ***	0,0512	34	0,0015	48,17 ***	12,7758	37	0,3453	151,29 ***
Mejora 1b vs. 1a	1,0362	4	0,2591	8,41 ***	0,0334	4	0,0084	5,54 ***	26,5688	1	26,5688	76,95 ***	
Bray	Ec. 1a	2,8984	5	0,5797		0,5498	5	0,1100		254,0463	5	50,8093	
	Residual Ec. 1a	2,0470	38	0,0539	10,76 ***	0,1543	38	0,0041	27,08 ***	72,1637	38	1,8990	26,76 ***
	Ec. 1b	3,9100	9	0,4344		0,6458	9	0,0718		310,5242	6	51,7540	
	Residual Ec. 1b	1,0354	34	0,0305	14,27 ***	0,0583	34	0,0017	41,85 ***	15,6858	37	0,4239	122,08 ***
	Mejora 1b vs. 1a	1,0116	4	0,2529	8,30 ***	0,0960	4	0,0240	14,00 ***	56,4779	1	56,4779	133,22 ***
Strip	Ec. 1a	3,1721	5	0,6344		0,6234	5	0,1247		289,6956	5	57,9391	
	Residual Ec. 1a	1,7733	38	0,0467	13,59 ***	0,0807	38	0,0021	58,71 ***	36,5144	38	0,9609	60,30 ***
	Ec. 1b	3,9182	9	0,4354		0,6527	9	0,0725		304,7218	6	50,7870	
	Residual Ec. 1b	1,0272	34	0,0302	14,41 ***	0,0514	34	0,0015	47,97 ***	21,4882	37	0,5808	87,45 ***
	Mejora 1b vs. 1a	0,7461	4	0,1865	6,17 ***	0,0293	4	0,0073	4,85 **	15,0262	1	15,0262	25,87 ***

*, **, ***; Indican significancia al nivel de 0,05; 0,01 y 0,001, respectivamente.

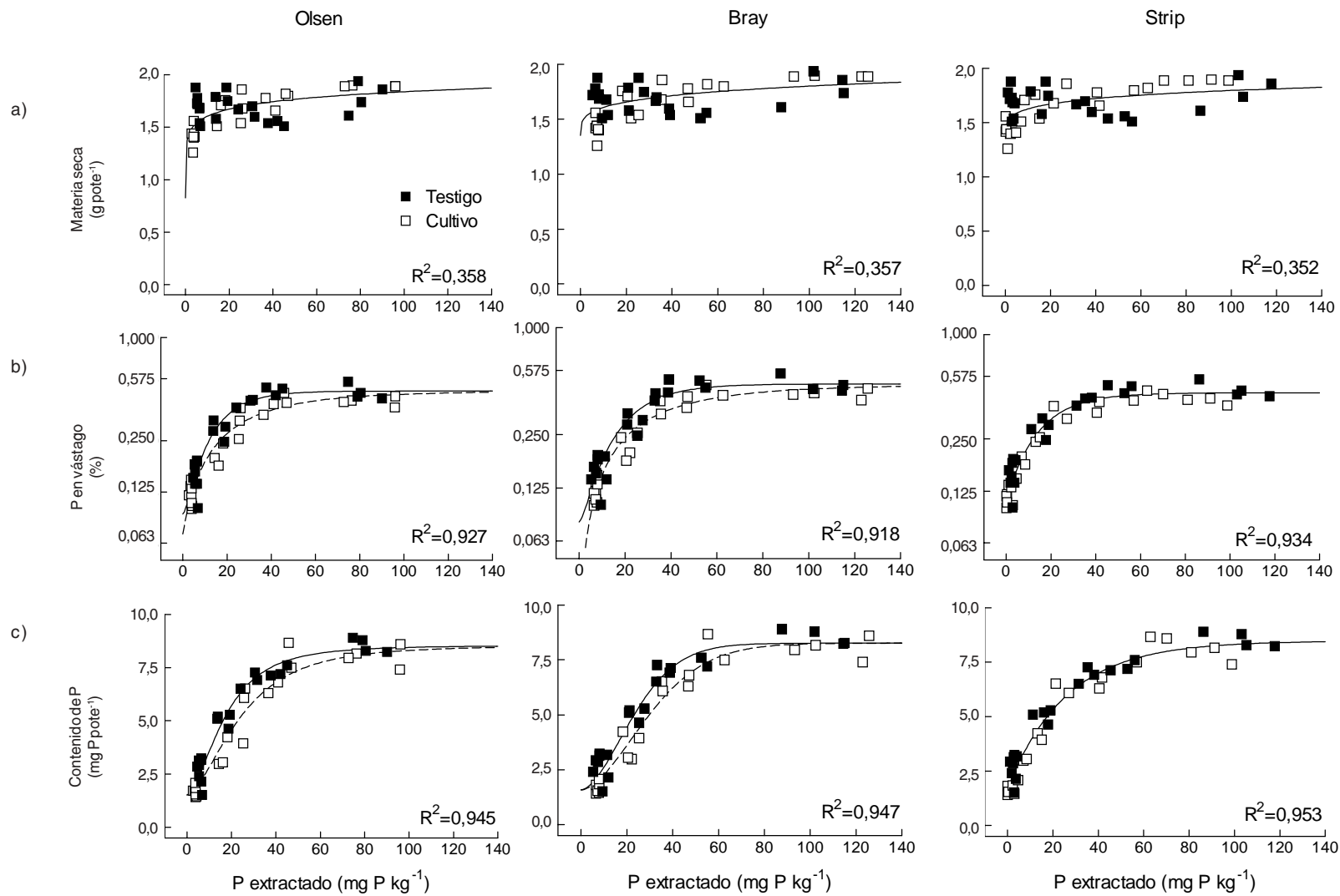


Figura 3. Relación entre el P extractado (Pext) por los métodos de Olsen, Bray I y Strip, con a) Materia Seca (MS), b) concentración de P en vástago (%P) y c) Contenido de P (Pabs) en el Vertisol.

Figure 3. Relationship between phosphorus extracted by the methods of Olsen, Bray I and Strip, with a) Dry Matter, b) Phosphorus concentration in the above-ground biomass and c) Phosphorus Content in the Vertisol.

Tabla 4. Comparación estadística entre ajustes mediante ecuación 1 (Ec. 1a vs. 1b) de los puntos experimentales (n = 44); para MS, %P y Pabs vs. Pext por los tres métodos en el Vertisol correspondientes a la Figura 3a, b y c.

Table 4. Statistical comparisons between adjustments by means of equation 1 (Ec. 1a vs. 1b) for the relationship between MS, %P and Pabs versus Pext by the three methods in the Vertisol (n = 44); depicted in Figures 3a, b and c.

Método	Fuente de variación	Materia seca				P en vástago				Contenido de P			
		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Valor de F	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Valor de F	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Valor de F
Olsen	Total	1,3815	43			0,8868	43			284,21	43		
	Ec. 1a	0,4947	5	0,0989		0,8016	5	0,1603		263,6307	5	52,7261	
	Residual Ec. 1a	0,8868	38	0,0233	4,24 **	0,0852	38	0,0022	71,50 **	20,5793	38	0,5416	97,36 ***
	Ec. 1b	0,6657	9	0,0740		0,8223	9	0,0914		268,5213	6	44,7536	
	Residual Ec. 1b	0,7158	34	0,0211	3,51 **	0,0645	34	0,0019	48,16 **	15,6887	37	0,4240	105,55 ***
	Mejora 1b vs. 1a	0,171	4	0,0428	2,03 ns	0,0207	4	0,0052	2,73 *	4,8906	1	4,8906	11,53 **
Bray	Ec. 1a	0,4931	5	0,0986		0,8032	5	0,1606		264,2899	5	52,8580	
	Residual Ec. 1a	0,8884	38	0,0234	4,22 **	0,0836	38	0,0022	73,02 **	19,9201	38	0,5242	100,83 ***
	Ec. 1b	0,7264	9	0,0807		0,8251	9	0,0917		269,124	6	44,8540	
	Residual Ec. 1b	0,6551	34	0,0193	4,19 ***	0,0617	34	0,0018	50,52 ***	15,086	37	0,4077	110,01 ***
	Mejora 1b vs. 1a	0,2333	4	0,0583	3,03 ns	0,0219	4	0,0055	3,02 *	4,8341	1	4,8341	11,86 **
Strip	Ec. 1a	0,4863	5	0,0973		0,8286	5	0,1657		270,9617	5	54,1923	
	Residual Ec. 1a	0,8952	38	0,0236	4,13 **	0,0582	38	0,0015	108,20 **	13,2483	38	0,3486	155,44 ***
	Ec. 1b	0,7158	9	0,0795		0,8372	9	0,0930		271,5071	6	45,2512	
	Residual Ec. 1b	0,6657	34	0,0196	4,06 **	0,0496	34	0,0015	63,77 **	12,7029	37	0,3433	131,80 ***
	Mejora 1b vs. 1a	0,2295	4	0,0574	2,93 ns	0,0086	4	0,0022	1,47 ns	0,5454	1	0,5454	1,59 ns

*, **, ***; Indican significancia al nivel de 0,05; 0,01 y 0,001, respectivamente.

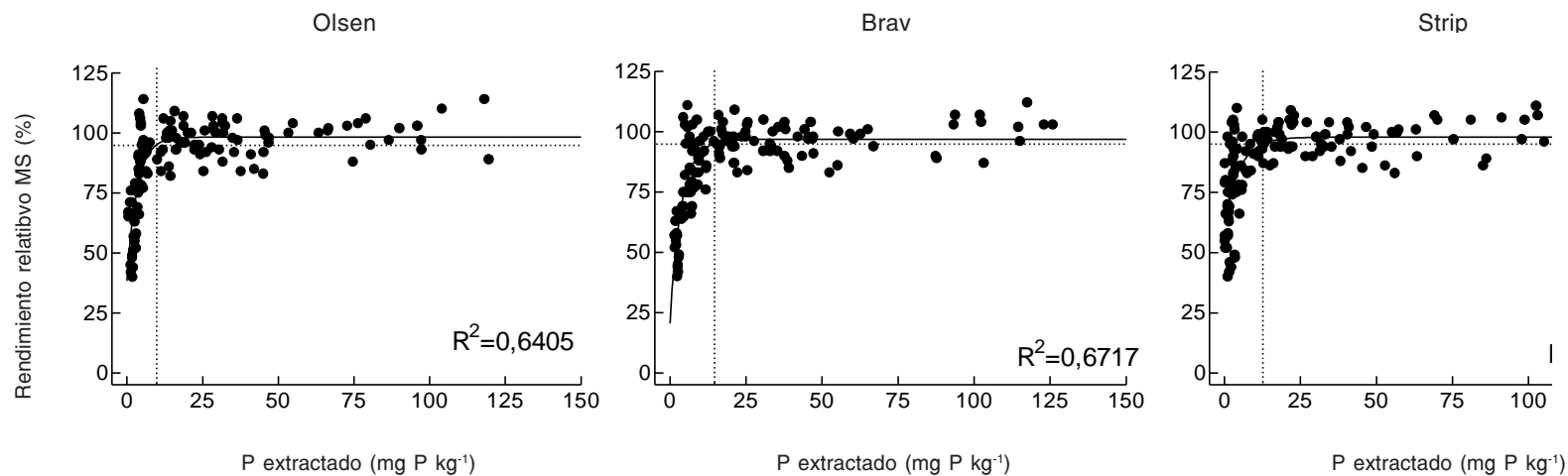


Figura 4. Relación entre el P extractable para cada método y el rendimiento relativo de la materia seca del vástago (%) para todos los suelos y todas las dosis de P agregadas. Se indica el nivel crítico de P extractado necesario para obtener el 95% del máximo de producción.

Figure 4. Relationship between extractable P for each method with the relative biomass yields (%) for all soils and P rates. Lines on graph indicate critical levels of P extracted for obtaining 95% of the maximum yield.

po de extracción relativamente corto de 5 minutos, según las recomendaciones de un estudio realizado entre laboratorios argentinos (Marbán & Mendoza, 1995; Boschetti & Quintero, 2005).

Por su parte, Olsen está formulado con una solución alcalina a pH 8,5 y con un período de extracción de 30 minutos. En este caso el OH^- y el CO_3^{2-} del NaHCO_3 disminuyen la concentración o actividad del Ca^{2+} y del Al^{3+} , que resulta en un aumento de la solubilidad del P de los suelos (Vázquez, 2005).

Strip contiene como soporte una solución débil en cuanto a fuerza iónica con pH cercano a la neutralidad, y el P que es desplazado a la solución del suelo es inmediatamente retenido por el óxido de hierro de la cinta de papel de filtro, de manera tal que la concentración P en la solución extractante es siempre cercana a cero y no existe prácticamente adsorción secundaria (Marbán & Mendoza, 1995). En esta situación la actividad de los cationes acompañantes y/o adsorción secundaria no influyen sobre la extracción (Aigner *et al.*, 2002). De los resultados obtenidos en este trabajo se infiere que el P extractado por el método de Strip fue el más estable y consistente cuando se evaluaron distintas variables vegetales, esto se debería a que su mecanismo de extracción de P del suelo simula de mejor manera el P absorbido por el vegetal en un determinado período de tiempo. Consistentemente con nuestros resultados, Marbán (2005) encontró también que al comparar tres métodos convencionales (Olsen, Bray I y Mehlich III) y Strip entre sí, este último fue el que mejor correlacionó con los otros 3 restantes, sugiriendo de esta manera también su estabilidad y consistencia en otros tipos de suelos.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que los tres métodos de evaluación de la disponibilidad de P del suelo (Olsen, Bray I y Strip) describieron de manera adecuada y significativa las relaciones entre MS, %P y Pabs con el P extractado. Sin embargo, la bondad de los ajustes fue diferente entre suelos, extractantes y manejos productivos, y sugieren la existencia de una interacción tripartita que arroja diferentes resultados en el valor final del P disponible.

Los resultados encontrados concuerdan con nuestra hipótesis en el sentido que el método Strip fue el más estable y consistente cuando se evaluaron distintas variables vegetales con el Pext debido a que su mecanismo de extracción de P del suelo simula de mejor manera el P absorbido por el vegetal.

Además podemos concluir que en los suelos arenosos con bajas capacidades de adsorción o retención de P por el suelo y también baja fertilidad, Olsen y Bray podrían sobreestimar el P disponible, y no discriminar de esta manera diferencias existentes debido al manejo productivo. Mientras que en suelos vertisólicos, y/o arcillosos, con buena fertilidad fosforada, Olsen y Bray son afectados por el manejo, y extraen P del suelo de manera diferencial y podrían subestimar el P disponible.

El método Strip es más complejo que Olsen y Bray en el manipuleo y practicidad, pero no necesariamente el método más sencillo y práctico en la evaluación de P disponible para el vegetal es el que mejor refleja la relación con la materia seca o con la concentración del P en el tejido.

AGRADECIMIENTOS

A la S.G.C. y T. de la Universidad Nacional del Nordeste por el financiamiento parcial con el PI-709.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdu, N. 2006. Soil-phosphorus extraction methodologies: A review. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 1, pp. 159-161.
Available online at <http://www.academicjournals.org/AJAR>
- Aigner, M; JC Fardeau & F Zapata. 2002. Does the Pi strip method allow assessment of the available soil P?: Comparison against the reference isotope method. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 63(1): 49-58.
- Araújo, MSB; CEGR Schaefer & EVSB Sampaio. 2004. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo* 28(2): 259-268.
- Barrow, NJ & RE Mendoza. 1990. Equations for describing sigmoid yield responses and their application to some phosphate responses by lupins and subterranean clover. *Fertilizer Research* 22(3): 181-188.
- Boschetti, G & C Quintero. 2005. Extracción del P disponible: Método Bray y Kurtz N° 1. Tecnologías en análisis de suelos. L. Marbán & S Ratto (eds) 159-168.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Condron, LM; JO Moir; H Tiessen & JWB Stewart. 1990. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54(5): 1261-1266.
- Dewis, J & F Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre Suelos N° 10 FAO: 252p.
- Escobar, EH; HD Liger; R Melgar; HR Matteio & O Vallejos. 1996. Mapa de Suelos de la provincia de Corrientes, 1:500.000. Subsecretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Corrientes. Imprenta Vida Correntina.

- González, M; MV López; G Moreno; R Comese & M Madero. 2007. Comparación de los métodos de Bray & Kurtz N°1 y Mehlich III en la determinación de la disponibilidad de fósforo en suelos con fertilizaciones continuas. *Ciencia del Suelo* 25(1): 23-29.
- Jackson, ML. 1964. Análisis químicos de los suelos. 2da. Edición. Editorial Omega S.A., Barcelona. 666 pág.
- Kuo, S. 1996. Phosphorus. In: Methods of soil analysis, Part 3. Chemical Methods. D.L. Sparks *et al.*, eds. SSSA Book Ser. No. 5 1390p. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Cap. 32.
- Mallarino, AP & AM Atia. 2005. Correlation of a Resin Membrane Soil Phosphorus Test with Corn Yield and Routine Soil Tests. *S. S. S. A. J.* 69(1): 266-272.
- Marbán, LG. 2005. Métodos convencionales e innovativos en fósforo: Comparación y variación. Tecnologías en análisis de suelos. L Marbán & S Ratto. (eds.) 187-190.
- Marbán, LG & RE Mendoza. 1995. Fósforo desorbido del suelo y retenido por óxido de hierro (Pi) I. Relación con el fósforo extraído por los métodos de Olsen y Bray 1. *Rev. Fac. Agr. de La Plata* 71: 135-138.
- McDowell, RW & AN Sharpley. 2003. Phosphorus solubility and release kinetics as a function of soil test P concentration. *Geoderma* 112(1-2): 143-154.
- Mendoza, RE & NJ Barrow. 1987a. Ability of three soil extractants to reflect the factors that determine the availability of soil phosphate. *Soil Sci* 144(5): 319-329.
- Mendoza, RE & NJ Barrow. 1987b. Characterizing the rate of reaction of some Argentinean soil with phosphate. *Soil Sci* 143(1): 105-112.
- Mendoza, RE & L Marbán. 1990. Evaluación del fósforo residual en suelos fertilizados: Comparación entre Bray I, Bray II, Olsen y punto nulo (P en solución). *Ciencia del Suelo* 8(2): 101-109.
- Mendoza, RE; LG Marbán & D Rodríguez. 1995. Fósforo desorbido del suelo y retenido por óxido de hierro (Pi) II. Disponibilidad de fósforo para el crecimiento de trigo evaluado por Pi, Olsen y Bray 1. *Rev. Fac. Agr. de La Plata* 71(1): 139-141.
- Menon, RG; LL Hammond & HA Sissingh. 1988. Determination of plant-available phosphorus by the Iron Hydroxide-impregnated Filter Paper (Pi) soil test. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52(1): 110-115.
- Murphy, J & JP Riley. 1962. A modified single solution for determination of phosphate in natural waters. *Anal Chim Acta* 27: 31-36
- Nelder, JA & R Mead. 1965. A Simplex Method for Function Minimization. *Comput. J.* 7: 308-313.
- Obreza, TA. 2001. Managing Phosphorus Fertilization of Citrus using Soil Testing. This document is SL186, one of a series of the Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Original publication date October 2001. Visit the EDIS Web Site at <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Olsen, SR; CV Cole; FS Watanabe & LA Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Washington, D.C. Circular 939.
- Page, AL; RH Miller & DR Keeney. 1982. Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties, Second edition, Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA. 1159 pág.
- Richards, LA. 1973. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos Salinos y Sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de America. Editorial Limusa. México. 172 pp.
- Scalenghe, R; AC Edwards; F Ajmone Marsan & E Barberis. 2002. The effect of reducing conditions on the solubility of phosphorus in a diverse range of European agricultural soils. *European J. Soil. Sci.* 53(3): 439-448.
- Semoka, JMR; CY Shekifu & D Mende. 1996. Nutrient constraints in selected rice growing areas of Morogoro region. In: CY Shekifu & JMR Semoka *Nutr Cycl Agroecosyst* (2007) 77: 169-177
- Sharpley, AW; CA Jones; C Gray; CV Cole; H. Tiessen & CS Holzhey. 1985. A detailed of phosphorus characterization of seventy eight soils. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service ARS: 31-32 pp.
- Shekifu, CY & JMR Semoka. 2007. Evaluation of iron oxide impregnated filter paper method as an index of phosphorus availability in paddy soils of Tanzania. *Nutr Cycl Agroecosyst* 77(2): 169-177.
- Takahashi, S & MR Anwar. 2007. Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of annual fertilizer application to an Andosol. *Field Crops Research*. 101(2): 160-171.
- Vázquez, S. 2005. Extracción del P asimilable por bicarbonato de sodio. Tecnologías en análisis de suelos. L Marbán & S Ratto. (eds.) 181-186.