

## FOSFORO EXTRACTADO Y FOSFORO ABSORBIDO EN RELACION CON EL ORIGEN DEL "POOL LABIL DE FOSFORO" DEL SUELO

Rodolfo E. Mendoza

Centro de Ecofisiología Vegetal (CONICET). Serrano 665. 1414  
Buenos Aires. Argentina.

### RESUMEN

Se estudiaron los efectos de algunos factores determinantes en la variación de la proporción extractada por algunas soluciones (Colwell, Olsen, Bray I y Bray II) y absorbida (rye grass) del "pool lábil de fósforo" del suelo (fósforo intercambiable). El estudio se realizó en diez suelos de distintas características físicas, químicas y mineralógicas que no habían recibido ningún tipo de fertilización. Las proporciones del fósforo intercambiable que fueron extractadas por las distintas soluciones se vieron afectadas por la capacidad reguladora de fosfato del suelo, por el pH del suelo, por el pH de la solución extractante y por la agresividad de la solución extractante. Los niveles absorbidos por las plantas del fósforo intercambiable se vieron mejor descriptos por los extractantes de Bray I y Olsen; mientras que tanto la solución de Bray II como la de Colwell extrajeron de algunos suelos una proporción mucho mayor del fósforo intercambiable en relación con la que fue absorbida por las plantas.

Palabras claves: fósforo intercambiable, fósforo extractado, fósforo absorbido.

### RELATIONSHIPS BETWEEN ORIGIN OF THE LABILE PHOSPHATE AND BOTH PHOSPHATE EXTRACTED AND PHOSPHATE UPTAKE

#### ABSTRACT

The effects of some factors which determine the variation on the extraction (Colwell, Olsen, Bray I y Bray II) and uptake (ryegrass) of the labile phosphate of the soils (exchangeable phosphate) were studied. This study was done on ten soils which differed widely in their physical and chemical properties. None of them had ever been fertilized with phosphate or other nutrients. The extraction of labile phosphate by the soil tests was affected by the phosphate buffer capacity of the soil, the pH of the soil, the pH of the extractant solution and the vigorousness of the extractant. The labile phosphate uptake by the plants was better reflected by the Bray I and the Olsen tests whereas the Bray II and the Colwell tests extracted from the soils a higher proportion of the labile phosphate to that absorbed by the plants.

Key words: exchangeable phosphate, soil tests, phosphate uptake.

## INTRODUCCION

El valor del fósforo intercambiable medio a través de la técnica del intercambio isotópico (Larsen, 1967) ha sido considerado como la principal fuente de fósforo inorgánico del suelo de la cual las plantas absorben fosfato Schofield (1955). Esta medida es usualmente denominada "pool lábil de fósforo". Sin embargo existen evidencias que medidas del fósforo intercambiable no han tenido buena correlación con el fósforo absorbido por las plantas, particularmente después de cortos períodos de crecimiento (Mattingly et al., 1963) o cuando se estudiaron suelos de características heterogéneas (Holford y Mattingly, 1979).

Teniendo en cuenta que la estimación de la disponibilidad de fósforo para las plantas se realiza comúnmente utilizando soluciones extractantes, debería existir entonces una relación entre la medida del fósforo intercambiable y la cantidad de fósforo desplazada del suelo por la solución extractante. No obstante, se ha comprobado que distintas soluciones extractantes desplazan del suelo distintas proporciones del fósforo intercambiable asociadas con la capacidad reguladora de fosfato del suelo (Holford, 1980).

Muchos estudios han tenido como propósito relacionar el valor del fósforo intercambiable con el concepto de "disponibilidad" (Olsen et al., 1954; Hagin et al., 1963; Ballaux y Peesler, 1975); sin embargo existen pocos trabajos en donde se hayan estudiado los factores asociados con la variación de la proporción del fósforo intercambiable absorbida por las plantas o extractada de los suelos por distintas soluciones.

Algunos de esos trabajos han sido publicados por Ryden y Syers (1977); Holford y Mattingly (1979) y Holford (1980). Debido a que también existe escasa información sobre estos estudios en suelos argentinos es que se ha llevado a cabo este trabajo.

Las soluciones extractantes más utilizadas han sido las comúnmente llamadas de "Bray" (Bray y Kurtz, 1945) y de "Olsen" (Olsen et al., 1954); ambas se han empleado tanto en suelos ácidos como en alcalinos a pesar de que originalmente fueron creadas para casos específicos. A partir de estas soluciones se han creado otras sobre la base de modificaciones; en el período de agitación, en la concentración del anión que compete con el fosfato, en la relación suelo:solución, y en otras más. En este trabajo se han utilizado las soluciones de Bray I, Bray II, Olsen y Colwell (Colwell, 1963).

## MATERIALES Y METODOS

### Suelos, isotermas de adsorción y ensayo de invernáculo:

En trabajos anteriores han sido publicados detalles acerca de los suelos utilizados en este estudio, como también la metodología empleada para la obtención de las curvas de retención de fósforo y para el desarrollo del ensayo del invernáculo (Mendoza, 1986 a, b, c). Resumiendo; se utilizaron diez suelos provenientes de distintos lugares de la República Argentina; la reacción entre el fósforo aplicado y el suelo se estudió empleando las curvas de retención; en cada suelo se cultivaron plantas de "rye-grass" durante 150 días, que se cosecharon 5 veces. Los suelos empleados se eligieron de manera tal de poder abarcar una amplia gama de características físicas, químicas y mineralógicas (Tabla 1).

### Determinaciones Analíticas

#### Fósforo intercambiable y capacidad reguladora de fosfato

Para la determinación del fósforo intercambiable se siguió la técnica utilizada por Barrow (1974), empleando la misma metodología que se utilizó para la obtención de las curvas de retención (Mendoza, 1986 a). El valor del fósforo intercambiable representa una estimación del fósforo nativo adsorbido por el suelo; por lo tanto para la obtención de las curvas de retención este valor fue adicionado al valor del fósforo agregado que fue adsorbido por el suelo durante la agitación. La ecuación de ajuste empleada fue la de Freundlich.

La capacidad reguladora de fosfato del suelo se calculó a partir del valor de la pendiente de la curva de retención para una concentración de fósforo en solución de 1  $\mu\text{g/ml}$  (Mendoza, 1986 c). Este valor estuvo altamente correlacionado con otros valores determinados para una concentración en solución de 0,05  $\mu\text{g P/ml}$  ( $r = 0,99$ ) y de 0,1  $\mu\text{g P/ml}$  ( $r = 0,99$ ).

#### Métodos de extracción de fósforo

Muestras de 1 g de suelo seco al aire a 25° C, se sometieron a la extracción de fósforo empleando los siguientes métodos:



- a) Método de Colwell: 1 g de suelo se agitó en un frasco de 150 cm<sup>3</sup> de capacidad con 100 ml de una solución de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 M a pH 8,5 durante 16 hs (Colwell, 1963). Una vez concluida la agitación y anteriormente al filtrado, se agregaron aproximadamente 0,4 g de carbón activado libre de fósforo para eliminar la interferencia del color producido por la materia orgánica en la determinación de fósforo en el extracto.
- b) Método de Olsen: igual al método anterior, con un volumen de solución de 20 ml y un período de agitación de 30 minutos (Olsen et al., 1954).
- c) Método de Bray I: 1 g de suelo se agitó en un tubo de centrífuga de 50 cm<sup>3</sup> de capacidad con 7 ml de una solución de HCl 0,025 N + NH<sub>4</sub>F 0,03 M durante 5 minutos (Kurtz y Bray, 1945).
- d) Método de Bray II: Igual al método anterior pero con una concentración de HCl de 0,1 M (Kurtz y Bray, 1945).

En todos los casos se utilizó un agitador recíproco de 10 cm de recorrido y de 60 ciclos por minuto. El fósforo en el extracto se determinó por el método de Murphy y Riley (1962).

#### Cationes extractables

El hierro y aluminio extractable se midieron utilizando el método de McKeague y Day (1966) y el calcio extractable por el método del acetato de amonio (Jackson, 1958).

### RESULTADOS

#### Efecto de la capacidad reguladora de fosfato del suelo sobre la extracción del fósforo intercambiable.

El fósforo extractado de los suelos por las cuatro soluciones no guardó relación alguna con el fósforo intercambiable; sin embargo al agrupar a los suelos de acuerdo con el valor de su capacidad reguladora (Tabla 1). En la mayoría de los casos la relación entre las variables no fue significativa debido al número de observaciones utilizadas; sin embargo la tendencia de los tres grupos de suelos fue claramente diferente.

La relación entre el fósforo extractado y el fósforo intercambiable fue directa independientemente de la capacidad reguladora del suelo (Fig. 1). Solamente en un caso (Bray II, capacidad reguladora media), la relación fue inversa.

Por otra parte, la proporción del fósforo intercambiable que extractaron las distintas soluciones también se vio afectada por la capacidad reguladora de fosfato (Fig. 2 a). Dicha proporción fue claramente inferior en los suelos de capacidad reguladora alta; mientras que entre los de capacidad reguladora media y baja (excluidos los suelos Nro. 5 y 10) no se observaron diferencias claras (Fig. 2 a).

En el caso de los suelos de pH alcalino (suelos Nro. 5 y 10), el efecto de la capacidad reguladora sobre la extracción del fósforo intercambiable no manifestó una tendencia consistente como en el caso de los suelos de pH ácido (Fig. 2 a).

#### Efecto del pH del suelo sobre la extracción del fósforo intercambiable

La proporción del fósforo intercambiable extractada por las cuatro soluciones aumentó con el pH del suelo. Este efecto se puede visualizar en la Fig. 3, en donde se observa que existieron claramente tres grupos bien diferenciados; los suelos ácidos 3 y 4, los moderadamente ácidos 1, 2, 6, 7, 8 y 9, y los alcalinos 5 y 10.

Por otra parte, se observó que a diferencia de en los suelos de pH ácido, en los de pH alcalino, las cuatro soluciones extrajeron distintas cantidades relativas del fósforo intercambiable (Fig. 2 a). En el caso de Bray I y Olsen, las cantidades extractadas no superaron en ningún caso el valor del fósforo intercambiable; mientras que las soluciones de Colwell y especialmente Bray II, la cantidad extractada fue mayor que el valor del fósforo intercambiable (Fig. 2 a).

#### Efecto de la característica del método de extracción sobre la extracción del fósforo intercambiable

Las proporciones del fósforo intercambiable removidas de los suelos se vieron afectadas por las características del método de extracción. Es así que tanto Colwell como Bray II que poseen condiciones de extracción más agresivas que Olsen y Bray I respectivamente, extractaron una proporción mayor del fósforo

TABLA 1. Algunas características de los suelos utilizados.

Suelo Nº	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (Cl <sub>2</sub> Ca)	P intercamb. (ppm)	Capacidad reguladora de P (ml/g)	Poder regulador de P	Extractables (%)		Intercamb. meq/100 g Ca
						Al	Fe	
1	5.9	4.8	14.6	16.5	bajo	0.042	0.144	5.9
2	6.3	4.9	11.0	10.1	bajo	0.035	0.037	7.6
3	5.7	4.5	24.3	131.2	alto	0.291	0.340	5.3
4	5.3	4.2	26.1	108.0	alto	0.142	0.097	2.3
5 (a)	8.0	7.4	7.0	36.8	medio	0.142	0.066	58.7
6	6.3	5.1	26.8	31.1	medio	0.110	0.130	9.3
7	6.2	5.0	28.9	32.8	medio	0.126	0.244	9.3
8	6.2	5.2	24.2	22.6	medio	0.079	0.166	15.1
9	6.3	5.2	15.9	23.6	medio	0.079	0.174	19.1
10	9.1	7.9	16.3	10.4	bajo	0.062	0.028	12.1

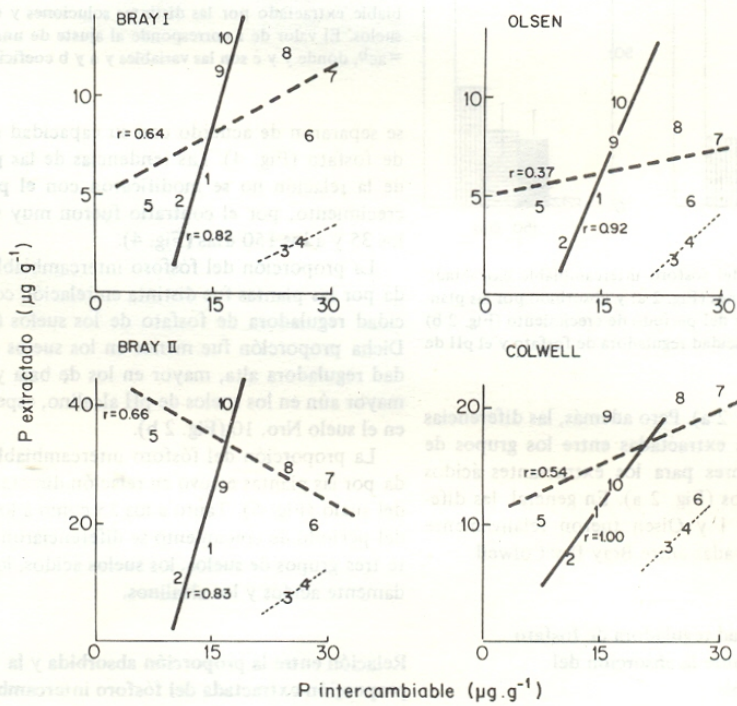
(a) CaCO<sub>3</sub> = 3%.

Figura 1. Relación entre el fósforo extractado por las distintas soluciones y el fósforo intercambiable para tres grupos de suelos de distinta capacidad reguladora de fosfato (baja—; media----, alta ----).



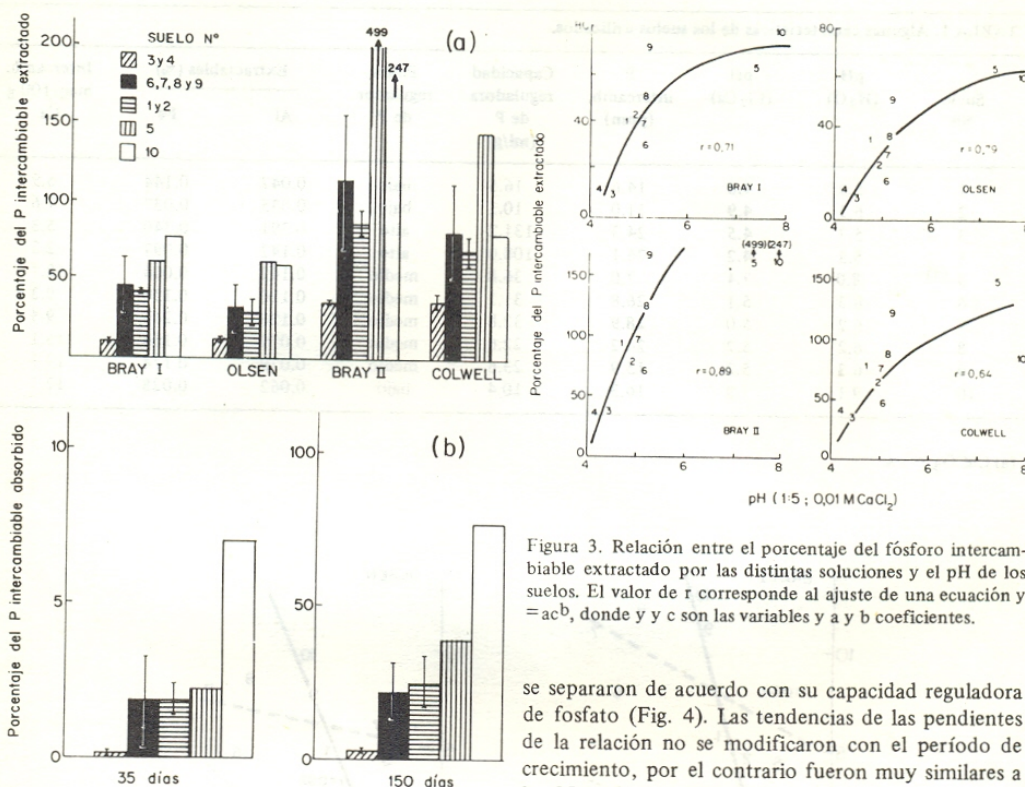


Figura 2. Porcentaje del fósforo intercambiable extraído por las distintas soluciones (Fig. 2 a) y absorbido por las plantas a los 35 y 150 días del período de crecimiento (Fig. 2 b) en relación con la capacidad reguladora de fósforo y el pH de los suelos.

intercambiable (Fig. 2 a). Pero además, las diferencias en las proporciones extraídas entre los grupos de suelos fueron mayores para los extractantes ácidos que para los alcalinos (Fig. 2 a). En general, las diferencias entre Bray I y Olsen fueron relativamente similares a las observadas entre Bray II y Colwell.

#### Efecto de la capacidad reguladora de fósforo y del pH del suelo sobre la absorción del fósforo intercambiable

Al igual que el fósforo extraído, el fósforo absorbido por las plantas tanto a los 35 días como a los 150 días no guardó relación alguna con el fósforo intercambiable; pero sí hubo relación cuando los suelos

Figura 3. Relación entre el porcentaje del fósforo intercambiable extraído por las distintas soluciones y el pH de los suelos. El valor de  $r$  corresponde al ajuste de una ecuación  $y = ac^b$ , donde  $y$  y  $c$  son las variables y  $a$  y  $b$  coeficientes.

se separaron de acuerdo con su capacidad reguladora de fósforo (Fig. 4). Las tendencias de las pendientes de la relación no se modificaron con el período de crecimiento, por el contrario fueron muy similares a los 35 y a los 150 días (Fig. 4).

La proporción del fósforo intercambiable absorbido por las plantas fue distinta en relación con la capacidad reguladora de fósforo de los suelos (Fig. 2 b). Dicha proporción fue menor en los suelos de capacidad reguladora alta, mayor en los de baja y media, y mayor aún en los suelos de pH alcalino, especialmente en el suelo Nro. 10 (Fig. 2 b).

La proporción del fósforo intercambiable absorbido por las plantas estuvo en relación directa con el pH del suelo (Fig. 5). Tanto a los 35 como a los 150 días del período de crecimiento se diferenciaron claramente tres grupos de suelos; los suelos ácidos, los moderadamente ácidos y los alcalinos.

#### Relación entre la proporción absorbida y la proporción extraída del fósforo intercambiable

La comparación entre las Figuras 2 a y 2 b permite asegurar a simple vista que si se consideran todos los suelos estudiados, los extractantes de Bray I y Olsen fueron los que mejor reflejaron los efectos de la capa-

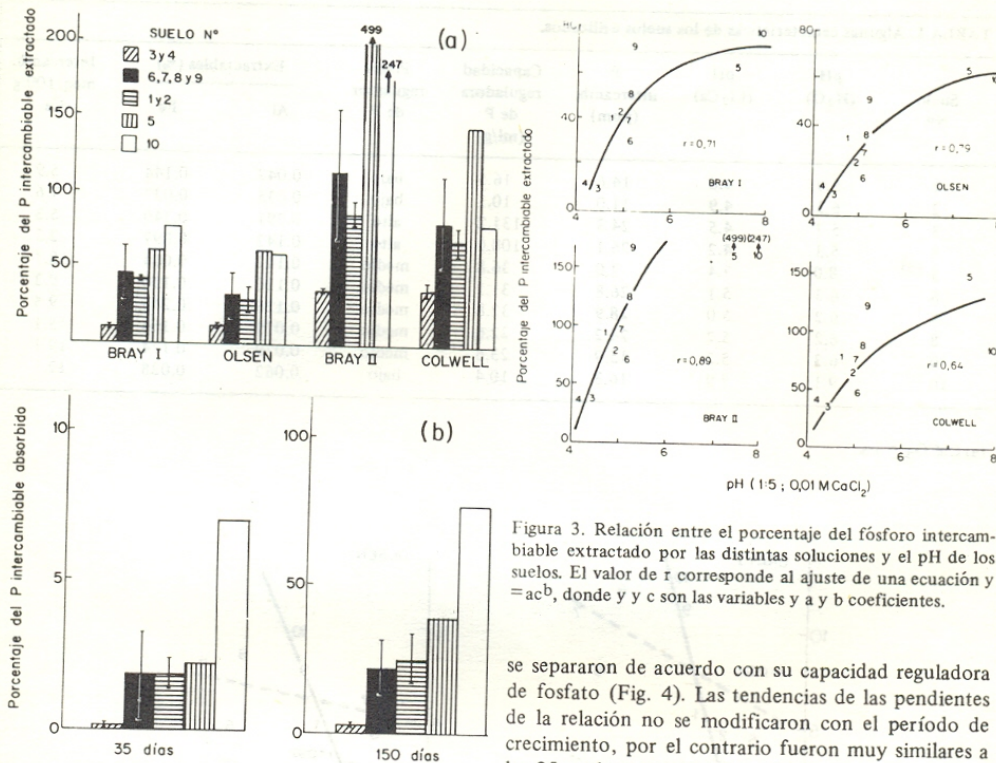


Figura 2. Porcentaje del fósforo intercambiable extraído por las distintas soluciones (Fig. 2 a) y absorbido por las plantas a los 35 y 150 días del período de crecimiento (Fig. 2 b) en relación con la capacidad reguladora de fósforo y el pH de los suelos.

intercambiable (Fig. 2 a). Pero además, las diferencias en las proporciones extraídas entre los grupos de suelos fueron mayores para los extractantes ácidos que para los alcalinos (Fig. 2 a). En general, las diferencias entre Bray I y Olsen fueron relativamente similares a las observadas entre Bray II y Colwell.

#### Efecto de la capacidad reguladora de fósforo y del pH del suelo sobre la absorción del fósforo intercambiable

Al igual que el fósforo extraído, el fósforo absorbido por las plantas tanto a los 35 días como a los 150 días no guardó relación alguna con el fósforo intercambiable; pero sí hubo relación cuando los suelos

se separaron de acuerdo con su capacidad reguladora de fósforo (Fig. 4). Las tendencias de las pendientes de la relación no se modificaron con el período de crecimiento, por el contrario fueron muy similares a los 35 y a los 150 días (Fig. 4).

La proporción del fósforo intercambiable absorbida por las plantas fue distinta en relación con la capacidad reguladora de fósforo de los suelos (Fig. 2 b). Dicha proporción fue menor en los suelos de capacidad reguladora alta, mayor en los de baja y media, y mayor aún en los suelos de pH alcalino, especialmente en el suelo Nro. 10 (Fig. 2 b).

La proporción del fósforo intercambiable absorbida por las plantas estuvo en relación directa con el pH del suelo (Fig. 5). Tanto a los 35 como a los 150 días del período de crecimiento se diferenciaron claramente tres grupos de suelos; los suelos ácidos, los moderadamente ácidos y los alcalinos.

#### Relación entre la proporción absorbida y la proporción extraída del fósforo intercambiable

La comparación entre las Figuras 2 a y 2 b permite asegurar a simple vista que si se consideran todos los suelos estudiados, los extractantes de Bray I y Olsen fueron los que mejor reflejaron los efectos de la capa-



TABLA 2. Regresión lineal entre el fósforo absorbido y el fósforo extractado expresados como porcentaje del valor del fósforo intercambiable.

Extractante	Período de crecimiento (días)	Nº de observ.	coeficientes		coeficiente de correlación (r)
			ordenada	pendiente	
Bray I	35	10	- 0.58	0.06	0.68*
	150	10	- 6.62	0.75	0.81**
	35	8(a)	0.35	0.03	0.48 ns
	150	8(a)	2.81	0.41	0.73*
Olsen	35	10	- 0.28	0.07	0.66*
	150	10	- 4.37	0.93	0.82**
	35	8(a)	0.24	0.05	0.50 ns
	150	8(a)	1.28	0.65	0.76*
Bray II	35	10	1.20	0.01	0.40 ns
	150	10	12.76	0.09	0.59 ns
	35	8(a)	0.26	0.01	0.47 ns
	150	8(a)	1.82	0.18	0.70*
Colwell	35	10	0.65	0.02	0.32 ns
	150	10	2.58	0.30	0.50 ns
	35	8(a)	- 0.10	0.02	0.51 ns
	150	8(a)	- 2.52	0.30	0.75*

(a). Los suelos N<sup>o</sup> 5 y 10 fueron excluidos de la regresión.  
 \* P < 0.05  
 \*\* P < 0.01  
 ns: no significativo

idad reguladora y del pH del suelo sobre la proporción absorbida del fósforo intercambiable; mientras que tanto Bray II como Colwell discreparon en ese aspecto. Estas discrepancias se debieron fundamentalmente a la desigual proporción entre las cantidades

extractadas por las soluciones y absorbidas por las plantas de los suelos de pH alcalino (Fig. 2).

Los efectos descritos precedentemente se ven confirmados y clarificados por los resultados obtenidos en la regresión lineal entre el fósforo absorbido y

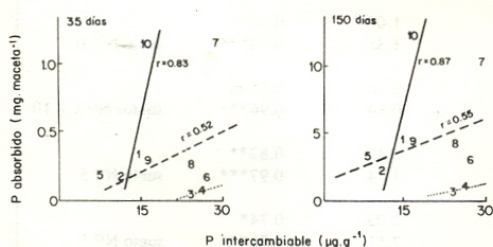


Figura 4. Relación entre el fósforo absorbido por las plantas a los 35 y 150 días del período de crecimiento y el fósforo intercambiable para tres grupos de suelos de distintas capacidad reguladora de fosfato (baja —; media - - - -; alta . . .).

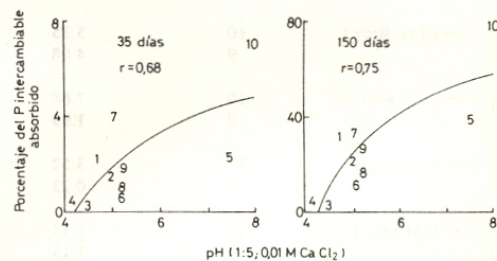


Figura 5. Relación entre el porcentaje del fósforo intercambiable absorbido por las plantas a los 35 y 150 días del período de crecimiento y el pH de los suelos. El valor de r corresponde al ajustado de una ecuación del mismo tipo que en la Fig. 3.

extractado expresados como porcentaje del intercambiable (Tabla 2). Tanto a los 35 como a los 150 días, la descripción de la relación fue sólo significativa para Bray I y para Olsen; mientras que cuando se excluyeron de la regresión los suelos de pH alcalino (suelos Nro. 5 y 10) no hubo diferencias entre las soluciones extractantes (Tabla 2).

#### Relación entre extractantes

En general, los valores de fósforo extractado de los diez suelos por las cuatro soluciones estuvieron altamente correlacionados entre sí. Solamente en un caso (Colwell vs. Bray II) la correlación no fue significativa (Tabla 3).

La mejor correlación se obtuvo entre Olsen y Bray I ( $r = 0.96$ ); en este caso ambas soluciones extrajeron similares cantidades de fósforo de todos los suelos. Para las restantes relaciones se observó que las cantidades de fósforo extractadas de los suelos 5 y/o 10 fueron desproporcionadamente diferentes entre los métodos de extracción, en comparación con las cantidades extractadas de los restantes suelos. Este efecto se puede observar en la Tabla 3, en donde la

exclusión de los valores correspondientes a los suelos 5 y/o 10 de la regresión produjo una significativa mejora en la descripción de la relación entre las cantidades de fósforo extractadas por las distintas soluciones.

#### DISCUSION

Si se acepta que el fósforo intercambiable representa el "pool lábil de fósforo" del suelo del cual se nutren principalmente las plantas, una correcta estimación de la disponibilidad de fósforo por medio de una solución extractante estaría dada por aquella solución que sea capaz de desplazar del suelo una cierta cantidad del fósforo intercambiable proporcional a aquella absorbida por la planta en un cierto período de crecimiento. Este trabajo, coincidente con otros anteriores (Holford, 1980), ha mostrado que la proporción extratada del fósforo intercambiable dependió tanto de las características del suelo como del método de extracción.

Existen al menos cuatro factores que afectan la extracción del fósforo intercambiable por una determinada solución, ellos son: la capacidad reguladora

Tabla 3. Regresión lineal entre los valores de fósforo extractado por los métodos de Colwell, Olsen, Bray I y Bray II.

Extractantes	Nº de observ.	coeficientes		coeficiente de correlación (r)	Excluido de la regresión
		ordenada	pendiente		
Colwell vs Olsen	10	4.65	1.58	0.81**	suelo Nº 10
	9	2.03	2.24	0.98***	
Colwell vs. Bray I	10	5.35	1.07	0.83**	suelo Nº 10
	9	4.08	1.35	0.93***	
Colwell vs Bray II	10	7.68	0.26	0.55 ns	suelos Nº 5 y 10
	8	1.99	0.64	0.96***	
Bray II vs Olsen	10	3.52	3.40	0.82**	suelo Nº 5
	9	0.23	3.74	0.97***	
Bray II vs Bray I	10	7.11	2.03	0.74*	suelo Nº 5 suelos Nº 5 y 10
	9	1.15	2.51	0.96***	
	8	2.70	2.18	0.99***	
Olsen vs Bray I	10	0.76	0.64	0.96***	

\* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001; ns: no significativo



de fosfato del suelo, el pH del suelo, el pH de la solución extractante y la agresividad de la solución extractante.

La relación entre el fósforo extractado y el fósforo intercambiable fue afectada por la capacidad reguladora de fosfato del suelo. Las pendientes de la relación para cada grupo de suelos fueron similares entre extractantes, a pesar de que las cantidades extractadas por Bray II y por Colwell fueron mayores a las de Bray I y Olsen. La única excepción en la similitud de las pendientes de dicha relación correspondió a la solución de Bray II y para los suelos de capacidad reguladora media debido al alto valor de la extracción de fósforo del suelo Nro. 5 en relación con el valor del fósforo intercambiable. El suelo Nro. 5 es un suelo que posee un 3% de carbonato de calcio, un alto valor de calcio intercambiable y un bajo valor de fósforo intercambiable (Tabla 1); esto sugiere por un lado, que gran parte del fósforo del suelo que fue extractado por Bray II no intercambió isotópicamente con el fósforo marcado y por otro lado, que gran parte del fósforo del suelo podría encontrarse asociado con calcio y el aumento de la concentración de hidrógenos de 0,025 N en Bray I a 0,1 N en Bray II incrementó notablemente la extracción de fósforo del suelo en cuestión.

La similitud entre las pendientes de la relación fósforo extractado vs. fósforo intercambiable para cada grupo de suelos, sugiere que entre las soluciones ácidas (excepto Bray II, capacidad reguladora media) y entre las alcalinas existió un efecto aditivo en la extracción en favor de Bray II y Colwell respecto a Bray I y Olsen. Este efecto se debió a las condiciones de extracción más agresivas que poseen los métodos de Bray II (mayor concentración de hidrógenos) y de Colwell (menor relación suelo: solución y mayor período de agitación) respecto a los métodos de Bray I y Olsen.

Las diferencias entre las proporciones extractadas del fósforo intercambiable reflejado por las soluciones, sugieren que si bien las cuatro soluciones contienen una alta concentración de un anión desorbente de fosfato del suelo (fluoruro y bicarbonato), la forma de actuar de los mismos sería diferente en cada grupo de suelos. Los extractantes ácidos han mostrado una

mayor diferencia en las proporciones extractadas del fósforo intercambiable entre los suelos de distinta capacidad reguladora que los extractantes alcalinos (Fig. 2a). Además, esas diferencias se ampliaron más aún cuando se consideraron las proporciones extractadas de los suelos de pH alcalino. Esto sugiere que el fluoruro y el bicarbonato podrían extraer fósforo del suelo asociado a diferentes formas y categorías, y además que la extracción es dependiente del pH natural del suelo (Holford, 1983). Es así que se las soluciones de bicarbonato de sodio (pH 8,5) podrían tener un mayor efecto sobre la liberación de fosfato asociados con hierro y aluminio en suelos ácidos (suelos Nro. 3 y 4) que las soluciones de Bray (pH 3 o menor). En contraste, las soluciones ácidas de Bray podría extraer una mayor cantidad de fósforo de suelos con altos contenidos de fósforo asociado con calcio (suelos Nro. 5 y 10) que las soluciones de bicarbonato. Los análisis de aluminio, hierro y calcio realizado en los suelos sustentan esta hipótesis (Tabla 1).

Los métodos de extracción de Bray I y Olsen fueron los que mejor reflejaron los efectos de la capacidad reguladora de fosfato y del pH del suelo sobre la proporción del fósforo intercambiable absorbida por las plantas. La moderada agresividad de ambos extractantes determinó que las cantidades extractadas no superarán en ningún caso a las cantidades intercambiables, sugiriendo que Bray I y Olsen extraen fósforo principalmente de la forma intercambiable, situación esta que pareció adecuarse más al comportamiento de la planta comparativamente con Bray II y Colwell. No obstante, las altas proporciones de fósforo absorbidas del suelo Nro. 10 indicarían que en este suelo las plantas también podrían haber absorbido fósforo proveniente de formas no intercambiables.

Por otra parte, tanto Colwell como particularmente Bray II extrajeron de algunos suelos, especialmente de los de pH alcalino, parte del fósforo no intercambiable. Sería razonable pensar en formas de fósforo asociadas con calcio y fósforo ocluido que no intercambiaron con el fósforo marcado (Holford, 1983). En este sentido, los valores absorbidos por las plantas no reflejaron esta situación, encuadrándose la absorción en la mayoría de los suelos dentro de los niveles del fósforo intercambiable.



## REFERENCIAS

- Ballaux, J.C. y D.E. Peaslee. 1975. Relationship between sorption and desorption of phosphorus by soils. *Soil Sci Soc. Am. Proc.* 39: 275-278.
- Barrow, N.J. 1974. Effect of previous additions of phosphate on phosphate adsorption by soils. *Soil Sci.* 118: 82-89.
- Bray, R.H. y L.T. Kurtz, 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Colwel, J.D. 1963. The estimation on the phosphorus fertilizer requirements of wheat in southern New South Wales by soil analysis. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 3: 190-197.
- Hagin, J.; J. Hillinger y A. Olmert. 1963. Comparison of several ways of measuring soil phosphorus availability. *J. Agric. Sci.* 60: 245-249.
- Holford, I.C.R. 1980. Effect of buffering capacity on critical levels and relationships between soil tests and labile phosphate in wheat-growing soils. *Aust. J. Soil Res.* 18: 405-414.
- Holford, I.C.R. 1983. Differences in the efficacy of various soil phosphate tests for white clover between very acid and more alkaline soils. *Aust. J. Soil Res.* 21: 173-182.
- Holford, I.C.R. y Mattingly, G.E.G. 1979. Effect of phosphate buffering capacity on extraction of labile phosphate by plants and by soil tests. *Aust. J. Soil Res.* 17: 511-514.
- Jackson, M.L. 1958. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. In: Black, C.A., Evans, D.D.; White, J.L.; Ensminger, L.E. and Clark, F.E. (Editors). *Methods of Soil Analysis, part 2, Chemical and Microbiological Properties.* 801 pp.
- Larsen, S. 1967. Soil Phosphorus. *Adv. Agron.* 19: 151-210.
- Mattingly, G.E.G., Russell, R.D. y Jephcott, B.M. 1963. Experiments on cumulative dressings of fertilizers on calcareous soils in southwest England II. Phosphorus uptake by rye grass in the greenhouse. *J. Sci. Food. Agric.* 14: 629-637.
- McKeague, J.A. y Day, J.A. 1966. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil. Sci.* 46: 13-22.
- Mendoza, R.E. 1986 a. Isotermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos. I. Método de ajuste y comparación entre ecuaciones. *Rev. Ciencia del Suelo* 2: 107-116.
- Mendoza, R.E. 1986 b. Isotermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos II. Aplicabilidad de las isotermas e interrelación de sus parámetros con variables de suelo y planta. *Rev. Ciencia del Suelo* 2: 117-124.
- Mendoza, R.E. 1986 c. Isotermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos. III. Relación entre la capacidad reguladora de fosfato y la eficiencia de aplicación de fósforo para el crecimiento. *Rev. Ciencia del Suelo* 2: 185-192.
- Mendoza, R.E. y Barrow, N.J. 1987. Characterizing the rate of reaction of some Argentinean soils with phosphate. *Soil Sci.* 143: 105-112.
- Murphy, J. y Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27: 31-36.
- Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circ.* 939.
- Ryden, J.C. y Syers, J.K. 1977. Origin of the labile phosphate pool in soils. *Soil Sci.* 123: 353-361.
- Schofield, R.K. 1955. Can a precise meaning be given to "available" soil phosphorus? *Soil Fert.* 19: 373-375.