

Comparación de métodos de análisis de suelo para estimar la disponibilidad de fósforo¹

José F. Araos F.²

INTRODUCCION

El fósforo (P) es el elemento que se utiliza en mayor cantidad como fertilizante en la agricultura chilena (3) (8) (10). Su empleo ha aumentado notablemente durante las últimas

¹El autor desea reconocer la participación en este trabajo del Ing. Agr. M. S. Hernán Tejada. Desea también agradecer la colaboración recibida de parte del Depto. de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, especialmente del Ing. Agr. M.S. Jorge Etchevers y del laborante Ernesto Riquelme.

Recepción manuscrito: 25 de marzo de 1971.

²Ing. Agr. M. S., Centro de Apoyo Suelos, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Casilla 5427, Santiago, Chile.

décadas: mientras en 1946 éste fue de 19.699 toneladas de P_2O_5 (5), en 1968 alcanzó a 96.900 toneladas³. De esta última cifra, sólo alrededor de un 10% es de origen nacional, por lo que el volumen de la importación de fertilizantes fosfatados es considerable. En 1969, el valor de dicha importación alcanzó la suma de 11.320.175 dólares⁴.

Los antecedentes aportados anteriormente ponen de manifiesto la importancia económica que tienen los fertilizantes fosfatados para el país y, por consiguiente, la conveniencia de que su empleo se efectúe en forma racional.

³Fuente: ODEPA.

⁴Fuente: Dirección de Estadística y Censos.

Esto último implica tomar en cuenta la disponibilidad de P en el suelo, las necesidades de los diferentes cultivos, la eficiencia de la aplicación del fertilizante (tipo de fosfato y método de aplicación) y el aspecto económico.

De los factores enunciados anteriormente, la disponibilidad de P es el más específico por cuanto puede variar apreciablemente aún dentro de un mismo tipo de suelo, particularmente en aquellas que han estado sometidos a cultivos. En este caso, la disponibilidad de nutrientes en un momento dado depende, en alto

grado, de la historia cultural de un suelo. Forman parte de la historia cultural factores como el número de años que un suelo ha sido cultivado, las especies sembradas, los rendimientos obtenidos, las fertilizaciones aplicadas y el manejo del suelo en el pasado. En el caso del P, las fertilizaciones anteriores tienen particular importancia, pues los fertilizantes fosfatados dejan un efecto residual en el suelo y, así, su aplicación durante varios años puede elevar considerablemente la disponibilidad de este elemento para las plantas.

Cuadro 1.- Métodos de extracción de P que se compararon, y algunas de sus características.

METODO	SOLUCION EXTRACTORA	RELACION SUELO: SOLUCION EXTRACTORA	TIEMPO DE AGITACION
Olsen (11)	NaHCO ₃ 0,5 M a pH 8,5	1 : 20	30 min.
Bray N° 1 (2)	HCl 0,025 N + NH ₄ F 0,03 N	1 : 7	1 min.
Bray N° 2 (2)	HCl 0,1 N + NH ₄ F 0,03 N	1 : 7	1 min.
Truog (12)	H ₂ SO ₄ 0,002 N + (NH ₄) ₂ SO ₄ a pH 3	1 : 200	30 min.
C. del N. ⁵	HCl 0,05 N + H ₂ SO ₄ a pH 3	1 : 10	5 min.

⁵Carolina del Norte, según el procedimiento empleado en el Estado del mismo nombre (Rodríguez S., Nicasio, Estación Experimental Quilamapu, Chillán. Comunicación personal, 1968).

El análisis químico de una muestra representativa de un suelo mediante un método adecuado, permite estimar, con una aproximación razonable, la disponibilidad de P para los cultivos. Un método se considera adecuado en la medida en que extrae de un suelo cantidades de P proporcionales a las que estarán disponibles para ser absorbidas por las plantas.

El Ministerio de Agricultura (6) empleó para la determinación de P la extracción con ácido cítrico al 2% hasta 1949, adoptando entonces el método de Morgan (9). Posteriormente adoptó el método de Olsen (11), mediante el cual se obtuvo una mejor asociación con la respuesta del trigo a la fertilización fosfatada en ensayos realizados desde Coquimbo a Llanquihue (7).

El objetivo principal del presente estudio fue comparar 5 métodos de extracción de P en cuanto a su aptitud para estimar la disponibilidad de este nutriente, en suelos regados de Ñuble.

MATERIAL Y METODO

Durante 3 temporadas, 1963-64, 1964-65 y 1965-66, se llevaron a cabo 33 ensayos de

campo en los que se estudió la respuesta del trigo a diferentes dosis de N y P, en condiciones de riego, en Ñuble (1). En 15 ensayos hubo respuesta positiva a P, mientras que en los 18 restantes no hubo efecto significativo del P sobre los rendimientos. En cada ensayo se tomó una muestra compuesta de la capa arable del suelo (0-20 cm), antes de fertilizar y sembrar. Las muestras se secaron al aire y se tamizaron a 2 mm para los análisis de laboratorio.

Los métodos de extracción de P que aquí se compararon y sus principales características se indican en el Cuadro 1. Estos métodos se eligieron en base al éxito con que se han empleado en diferentes países, y a su simplicidad, la que permite usarlos rutinariamente.

Con el objeto de comparar la aptitud de los diferentes métodos para estimar la disponibilidad de P, se calcularon las correlaciones simples entre las cantidades de P extraídas por cada método, como también sus logaritmos y la respuesta a P en los ensayos. La respuesta se expresó como porcentaje de aumento de rendimiento atribuible a P, en presencia de un nivel adecuado de nitrógeno. En cada ensayo se consideró la dosis de P que produjo la mayor respuesta.

Los suelos en que se realizaron los ensayos pueden clasificarse, de acuerdo a sus características, en 3 grupos: rojos (Alfisolos), trumaos (Andepts) y misceláneos. El primer grupo incluye suelos de las series San Carlos y Mirador, el segundo a suelos de las series Arrayán y Mañil y el grupo misceláneo a suelos de características variables. En el Cuadro 2 se presentan los promedios y rangos de pH, porcentajes de arcilla, materia orgánica y fijación de P en las muestras de cada grupo de suelos.

Cuadro 2.- Promedios y rangos de pH, porcentaje de arcilla, materia orgánica y fijación de P en la capa arable de los diferentes grupos de suelos.

CARACTERISTICA	ROJOS	TRUMAOS	MISCELANEOS
Promedios			
pH	5,4	5,8	5,9
% Arcilla	34	20	25
% Materia orgánica	3,8	10,4	4,9
% Fijación de P	30	59	32
Rangos			
pH	5,1-5,8	5,5-6,1	5,5-6,3
% Arcilla	27-40	12-26	3-38
% Materia orgánica	2,9-5,2	7,2-13,1	3,4-7,4
% Fijación de P	26-37	52-70	20-49

El pH se determinó usando una relación suelo: agua de 1:2,5, el contenido de arcilla mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos, el contenido de materia orgánica se calculó a partir del carbono oxidado por dicromato con ácido sulfúrico, con adición de calor externo (4) y la fijación de P se estimó calculando el porcentaje de P insolubilizado al agitar durante 1 hora 10 g de suelo con 100 ml de una solución que contenía 24,2 mg de P, como KH_2PO_4 , después de 12 horas de decantación.

RESULTADO Y DISCUSION

En el Cuadro 3 se muestran los promedios y los rangos de las cantidades de P extraídas por cada método en los diferentes grupos de suelos. En los tres grupos, el método de Truog extrajo las mayores cantidades de P y el método de Bray N° 1, las menores. Tanto la relación solución extractora: suelo, como el tiempo de agitación son mucho mayores en el método

Cuadro 3.- Promedios y rangos de las cantidades de P extraídas por cada método en los diferentes grupos de suelos.

SUELOS				
METODO	ROJOS	TRUMAOS	MISCELANEOS	TODOS
PROMEDIOS				
Olsen	13,1	7,5	14,8	11,9
Bray N° 1	8,4	2,9	13,0	8,2
Bray N° 2	11,0	4,0	21,0	12,2
Truog	14,8	8,6	28,7	17,6
Carolina del N.	10,7	3,1	21,3	12,0
RANGOS				
Olsen	3,7-35,3	4,0-11,5	7,3-21,5	3,7-35,3
Bray N° 1	3,3-18,4	1,1-7,7	2,0-23,2	1,1-23,2
Bray N° 2	3,9-25,8	2,3- 8,2	5,0-49,1	2,3-49,1
Truog	5,3-34,0	5,5-15,0	6,5-72,5	5,3-72,5
Carolina del N.	3,0-28,3	1,3-5,8	3,8-47,0	1,3-47,0

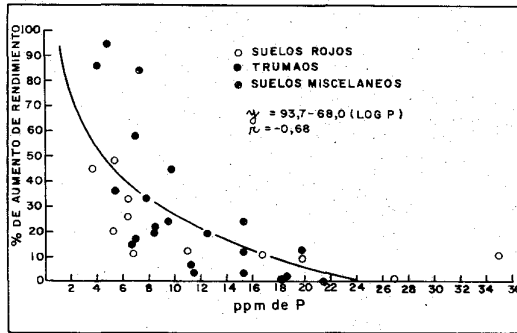
de Truog que en los de Bray, lo que podría haber incidido sobre este hecho. En los suelos rojos y en los trumaos, el método de Olsen siguió al de Truog en cuanto a las cantidades de P extraídas, no así en los suelos misceláneos.

Todos los métodos extrajeron menos P en los trumaos que en los demás suelos, lo que podría tener relación con la mayor fijación de este elemento por parte de los trumaos. Esta menor extracción fue proporcionalmente más pronunciada con los métodos de Bray N° 1, Bray N° 2 y Carolina del Norte que con los de Truog y Olsen.

Todos los métodos determinaron más P en los suelos misceláneos que en los demás, especialmente los métodos de extracción ácida (Bray N° 1, Bray N° 2, Truog y Carolina del Norte). Esta mayor extracción que en promedio hicieron los métodos ácidos, se vio influenciada por los valores obtenidos en 4 suelos cercanos a ríos, especialmente en dos suelos con escaso contenido de arcilla (3 y 5%, respectivamente), en los cuales los métodos de extracción ácida determinaron cantidades elevadas de P, mucho mayores que las determinadas por el método de Olsen.

En el Cuadro 4 se presentan, para los distintos grupos de suelos, los coeficientes de correlación simple entre los logaritmos de las cantidades de P extraídas por cada método y la respuesta a P en los ensayos. Todos los coeficientes resultaron con signo negativo, lo que

Figura 1.- Correlación entre las cantidades de P extraídas por el método de Olsen y la respuesta del trigo a la fertilización fosfatada, en suelos regados de Ñuble.



está dentro de lo esperado ya que a mayor cantidad de P debería corresponder una menor

respuesta. En consecuencia, de aquí en adelante en este trabajo se dirá que un coeficiente de correlación es mayor mientras más se aproxime su valor a la unidad, al margen de su signo.

En los suelos rojos, los coeficientes de correlación fueron al menos de $-0,76$. En los trumaos, los coeficientes fueron al menos de $-0,70$ excepto el correspondiente a método de Bray N° 1, que fue sólo de $-0,31$. En los suelos misceláneos, el coeficiente más alto se obtuvo con el método de Olsen, $-0,85$, mientras que con los métodos de extracción ácida los coeficientes no superaron el valor de $-0,35$. Las bajas correlaciones obtenidas con los métodos de extracción ácida en los suelos misceláneos se deben, en parte, a que las cantidades de P determinadas por estos métodos en algunos suelos cercanos a ríos fueron altas, pese a lo cual hubo respuesta a P en los ensayos correspondientes.

Cuadro 4.- Coeficientes de correlación simple, r, entre los logaritmos de las cantidades de P extraídas por cada método y la respuesta a P, en los diferentes grupos de suelos.

SUELOS	METODO				
	OLSEN	BRAY N° 1	BRAY N° 2	TRUOG	CAROLINA DEL NORTE
	valor de r				
Rojos	$-0,77^*$	$-0,81^*$	$-0,76^*$	$-0,86^*$	$-0,76^*$
Trumaos	$-0,82^*$	$-0,31$	$-0,72^*$	$-0,70^*$	$-0,81^*$
Misceláneos	$-0,85^*$	$-0,35$	$-0,08$	$-0,31$	$-0,32$
Todos	$-0,68^*$	$-0,48^*$	$-0,45^*$	$-0,52^*$	$-0,54^*$

*Significativo al 0,05.

Al considerar todos los suelos juntos, las correlaciones fueron inferiores a aquellas obtenidas separadamente en los suelos rojos y en los trumaos. Esto ocurrió con todos los métodos excepto el de Bray N° 1 en trumaos. La mejor correlación se obtuvo con el método de Olsen, siendo el valor de r de $-0,68$.

La relación entre la cantidad de P extraída y la respuesta a P fue diferente en los trumaos con respecto a los suelos rojos, lo que se desprende al comparar los coeficientes de las ecuaciones de regresión para ambos grupos de suelos (Cuadro 5). Tanto la ordenada de origen como la pendiente de la recta (coeficiente de regresión) fueron mayores en los trumaos, por todos los métodos excepto el de Bray N° 1. Este último, como se vio, fue el único que presentó una baja correlación con la respuesta en los trumaos.

Tendencias similares a las expuestas anteriormente se obtuvieron cuando se calcularon los coeficientes de correlación entre las cantidades de P (sin transformar a sus logaritmos) y la respuesta a P. En este caso, sin embargo, estos coeficientes fueron inferiores o, a lo más, similares a los obtenidos con transformación a logaritmo.

En el Cuadro 6 se muestran los coeficientes de correlación simple entre las cantidades de P extraídas por los diferentes métodos. En los suelos rojos, todos los métodos estuvieron altamente correlacionados entre sí, siendo los valores de r de al menos 0,92. En los trumaos, los valores de r oscilaron desde 0,34 entre los métodos de Olsen y Bray N° 1, hasta 0,91 entre los de Olsen y Carolina del Norte. En los suelos misceláneos, los métodos de Bray N° 1, Bray N° 2, Truog y Carolina del Norte estuvieron

Cuadro 5.- Coeficientes de las ecuaciones que relacionan la respuesta a P con los logaritmos de las cantidades de P extraídas, en los suelos rojos y en los trumaos.

METODO	COEFICIENTE			
	ORDENADA DE ORIGEN		PENDIENTE	
	Rojos	Trumaos	Rojos	Trumaos
Olsen	58,1	191,8	-37,5	-183,2
Bray N° 1	58,3	49,7	-45,1	-37,2
Bray N° 2	57,8	121,6	-39,5	-149,3
Truog	73,5	169,8	-48,7	-147,1
Carolina del Norte	50,1	89,4	-33,2	-120,7

Cuadro 6.- Coeficientes de correlación simple, r, entre las cantidades de P extraídas por los diferentes métodos, en los distintos grupos de suelos.

METODO	VALOR DE r			
	BRAY N° 1	BRAY N° 2	TRUOG	CAROLINA DEL NORTE
	Suelos rojos			
Olsen	0,95*	0,97*	0,92*	0,98*
Bray N° 1		0,99*	0,97*	0,98*
Bray N° 2			0,94*	0,99*
Truog				0,95*
	Suelos trumaos			
Olsen	0,34	0,73*	0,78*	0,91*
Bray N° 1		0,82*	0,37	0,58
Bray N° 2			0,63*	0,84*
Truog				0,83*
	Suelos misceláneos			
Olsen	0,21	-0,27	-0,11	0,03
Bray N° 1		0,85*	0,85*	0,90*
Bray N° 2			0,91*	0,90*
Truog				0,97*
	Todos los suelos			
Olsen	0,70*	0,52*	0,51*	0,66*
Bray N° 1		0,92*	0,90*	0,95*
Bray N° 2			0,94*	0,95*
Truog				0,96*

*Significativo al 0,05.

altamente correlacionados entre sí, pero la correlación entre estos métodos y el de Olsen fue muy baja. Al considerar todos los suelos juntos, los métodos de Bray N° 1, Bray N° 2, Truog y Carolina del Norte estuvieron altamente correlacionados entre sí, con valores de r de al menos 0,90. Con respecto al método de Olsen, los valores de r oscilaron desde 0,51 con el método de Truog hasta 0,70 con el de Bray N° 1. Volke (13) al correlacionar el método de Olsen con los demás aquí considerados, en suelos representativos de Osorno y Llanquihue, obtuvo valores de r que oscilaron desde 0,66 hasta 0,77.

CONCLUSIONES

Las correlaciones entre el P extraído por los métodos que aquí se compararon y la respuesta a P en los ensayos, indican que todos ellos estiman satisfactoriamente la disponibilidad de este nutriente, tanto en los suelos rojos como en los trumaos, con la excepción del método de Bray N° 1 en los trumaos. En los suelos misceláneos, en cambio, sólo el método de Olsen tuvo una buena correlación con la respuesta a P, mientras que los demás métodos, que son de extracción ácida, tuvieron una co-

rrelación baja. Esto último se debió, en parte, a que en algunos suelos ubicados en las cercanías de ríos, los métodos de extracción ácida determinaron cantidades elevadas de P, a pesar de lo cual hubo respuesta a este elemento.

De acuerdo a estos resultados, el método de

Olsen sería el más recomendable, entre los que aquí se compararon, para estimar la disponibilidad de P en los suelos que se incluyeron en el presente estudio. La correlación entre este método y la respuesta a P se muestra gráficamente en la Figura 1.

RESUMEN

Se compararon los métodos de Olsen, Bray N° 1, Bray N° 2, Truog y Carolina del Norte, en cuanto a su aptitud para estimar la disponibilidad de P en suelos regados de Ñuble. Para ello se calcularon las correlaciones simples entre las respuestas del trigo a P en ensayos de campo y los logaritmos de las cantidades de P extraídas por los métodos mencionados. Se realizaron 11 ensayos en suelos rojos (alfisoles), 11 en trumaos (andepts) y 11 en suelos misceláneos.

Tanto en los suelos rojos como en los trumaos, los coeficientes de correlación simple, r , fueron de al menos $-0,70$, excepto el correspondiente al método de Bray N° 1 en trumaos, que fue de $-0,31$. En los suelos misceláneos, en cambio, sólo el método de Olsen presentó una buena correlación con la respuesta a P; los demás métodos determinaron cantidades elevadas de P en algunos suelos cercanos a ríos, pese a que en estos hubo respuesta a P. Al considerar todos los suelos juntos, la más alta correlación se obtuvo mediante el método de Olsen, con un valor de r de $-0,68$.

Se concluye que, entre los métodos comparados, el de Olsen es el más recomendable para los suelos estudiados.

Se presentan también las cantidades de P extraídas por cada método, en promedio en cada grupo de suelos, y los coeficientes de correlación de los distintos métodos entre sí.

SUMMARY

The Olsen, Bray N° 1, Bray N° 2, Truog and North Carolina methods were compared as to their reliability in estimating P availability on irrigated soils in Ñuble. The simple correlations were calculated between the wheat response to P, in field experiments, and the logarithms of the amounts of P extracted by each method. Eleven experiments were carried out on red soils (alfisols), 11 in trumao soils (andepts) and 11 in miscellaneous soils.

In the red as well as in the trumao soils, the simple correlation coefficient values were at least of $-0,70$, except with Bray's N° 1 method in trumao soils ($r = -0,31$). In the miscellaneous soils, only the Olsen method showed a good correlation with the response to P; the other methods determined high amounts of P in some soils located near rivers where, however, a response to P was found in the experiments. When all the soils were grouped together, the Olsen method had the highest correlation, $r = -0,68$.

It is concluded that the Olsen method is more reliable than the others included in this work, on the soils that were studied.

The averages of the amounts of P extracted by each method in the different soil group, and the correlation coefficients among the different methods are also shown.

LITERATURA CITADA

1. ARAOS F., JOSÉ. Fertilización de trigo en suelos regados de Ñuble. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Quilamapu, Chillán. 29 p. 1970.
2. BRAY, R. H. and KURTZ, L. T. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59:39-45 1945.
3. CHILE, MINISTERIO DE AGRICULTURA. Política de Fertilizantes. Plan de Desarrollo Agropecuario 1965-1980. Santiago, Oficina de Planificación Agrícola. Vol. 3, p. XII-219 — XII-255. 1968.
4. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice Hall. 498 p. 1958.

5. LETELIER A., ELÍAS. Abonos en Chile. In Chile, Departamento de Investigaciones Agrícolas, Siete Años de Investigación Agrícola. Santiago, Ministerio de Agricultura, pp. 177-232 1950.
6. —y RUSSI S., ENRIQUE. Nueva orientación de los análisis de tierra. Simiente 24:89-95. 1954.
7. — *et al.* Cien ensayos NPK en trigo. Santiago, Chile. Ministerio de Agricultura, Departamento de Investigaciones Agrícolas. Boletín Técnico N° 9. 43 p. 1961.
8. —Uso actual y necesidad potencial de fertilizantes en la agricultura chilena (I), Agricultura Técnica (Chile) 25 (2) : 45-51. 1965.
9. MORGAN, M. F., Chemical soil diagnosis by the Universal soil testing system. Connecticut Agr. Exp. Sta. Bul. 450. 1941.
10. NACIONES UNIDAS, CONSEJO ECONÓMICO SOCIAL. El uso de fertilizantes en Chile, Estudio preparado por la División Agrícola Conjunta CEPAL-FAO con la colaboración del Banco Interamericano de Desarrollo. 133 p. 1966. (Mimeografiado).
11. OLSEN, S. R. *et al.* Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington D. C. U. S. D. A. Circular 939, 19 p. 1954.
12. TRUOG, E. The determination of readily available phosphorus of soils. J. Am. Soc. Agron. 22:874-882, 1930.
13. VOLKE H., VICTOR. Comparación de métodos extractivos de fósforo en suelos representativos de las provincias de Llanquihue y Osorno. Tesis Ing. Agr. Chillán, Chile, Universidad de Concepción. 151 p. 1963. (Mimeografiado).